

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**DISSERTAÇÃO**

**DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGEM BIODEGRADÁVEL À  
BASE DE PLA E CASCA DE CENOURA**

**GRACE KELLY DA SILVA GODINHO**

**2021**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGEM BIODEGRADÁVEL À  
BASE DE PLA E CASCA DE CENOURA**

**GRACE KELLY DA SILVA GODINHO**

*Sob a Orientação da Professora Dr<sup>a</sup>.*

**Renata Nunes Oliveira**

*e Coorientação da Professora Dr<sup>a</sup>.*

**Cristiane Hess de Azevedo Meleiro**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Química**, no curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, Área de Concentração em Tecnologia Química.

Seropédica, RJ

Agosto de 2021

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G585d

Godinho, Grace Kelly da Silva, 1984-  
Desenvolvimento de Embalagem Biodegradável à Base  
de PLA e Casca de Cenoura / Grace Kelly da Silva  
Godinho. - Rio de Janeiro, 2021.  
58 f.: il.

Orientadora: Renata Nunes Oliveira.  
Coorientadora: Cristiane Hess de Azevedo Meleiro.  
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal  
Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Química, 2021.

1. Embalagem. 2. Impacto Ambiental do descarte de  
Plástico. 3. Polímeros Biodegradáveis. 4. Resíduos  
Orgânicos. 5. Reaproveitamento de Casca de Cenoura.  
I. Oliveira, Renata Nunes, 1984-, orient. II.  
Meleiro, Cristiane Hess de Azevedo, 1972-, coorient.  
III Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. IV.  
Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**GRACE KELLY DA SILVA GODINHO**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Química**, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, área de Concentração em Tecnologia Química.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 23/08/2021.

**Conforme deliberação número 001/2020 da PROPPG, de 30/06/2020**, tendo em vista a implementação de trabalho remoto e durante a vigência do período de suspensão das atividades acadêmicas presenciais, em virtude das medidas adotadas para reduzir a propagação da pandemia de Covid-19, nas versões finais das teses e dissertações as assinaturas originais dos membros da banca examinadora poderão ser substituídas por documento(s) com assinaturas eletrônicas. Estas devem ser feitas na própria folha de assinaturas, através do SIPAC, ou do Sistema Eletrônico de Informações (SEI) e neste caso a folha com a assinatura deve constar como anexo ao final da tese / dissertação.

Membros da banca:

Renata Nunes Oliveira. Dra. UFRRJ. (Orientadora/Presidente da banca)

Daniele Cruz Bastos. Dra. UEZO.

Marisa Fernandes Mendes. Dra. UFRRJ.



*Emitido em 2021*

**TERMO N° 926/2021 - PPGEQ (12.28.01.00.00.00.42)**

**(N° do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)**

*(Assinado digitalmente em 29/08/2021 22:39)*

MARISA FERNANDES MENDES  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
PPGEQ (12.28.01.00.00.00.42)  
Matricula: 1522432

*(Assinado digitalmente em 26/08/2021 10:33)*

RENATA NUNES OLIVEIRA  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
DEQ (12.28.01.00.00.00.45)  
Matricula: 1898760

*(Assinado digitalmente em 25/08/2021 18:59)*

DANIELE CRUZ BASTOS  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: 091.723.287-97

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.ufrrj.br/documentos/> informando seu número:  
**926**, ano: **2021**, tipo: **TERMO**, data de emissão: **25/08/2021** e o código de verificação: **7508c56ece**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, à Deus pela oportunidade de chegar até aqui e pelas pessoas que colocou em meu caminho. Agradeço a minha mãe Edna (in memoria) por todo esforço e dedicação. Agradeço ao meu pai Adilson (in memoria), obrigado por tudo. Agradeço a meus tios Izabel e Jorge pela ajuda e incentivo, sempre fundamentais nessa minha jornada. Agradeço ao meu marido Ezequiel pela paciência, dedicação e incentivo a nunca desistir. Agradeço a minha filha Sofia por todo amor e por não me fazer desistir. Agradeço ao meu irmão Victor e meu padasto Erasmo por todo incentivo. Agradeço a minha prima Patrícia e minha tia Luciene pela ajuda e cuidado. Agradeço a todos os familiares e amigos que de alguma forma ajudaram nessa jornada.

Agradeço à professora Renata pela orientação, pela oportunidade de aprender assuntos novos, pela paciência, incentivo e por me apoiar nos momentos difíceis.

Agradeço aos colegas de laboratório pela ajuda e por tudo que me ensinaram.

Agradeço à todos os professores do Programa pós-graduação em Engenharia Química que de alguma forma contribuíram para meu crescimento. Agradeço à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pela oportunidade e aprendizado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 "This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

# **TÍTULO: DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGEM BIODEGRADÁVEL À BASE DE PLA E CASCA DE CENOURA**

## **RESUMO**

Com o crescente consumo de embalagens plásticas e o impacto negativo de seu descarte inadequado e a saturação dos aterros sanitários e lixões, muitos resíduos são produzidos. Neste caso, a eliminação de resíduos tornou-se uma questão crítica para a construção de uma sociedade ambientalmente correta. Considerando a pressão crescente de recursos limitados e segurança ambiental, os polímeros biodegradáveis podem ser uma forma promissora de facilitar a pressão de eliminação de resíduos plásticos. Geralmente, polímeros biodegradáveis são biopolímeros derivados de recursos renováveis, como sacarídeos, glicolípídeos, lipopolissacarídeos, proteínas e polihidroxialcanoatos. Os polímeros biodegradáveis mais utilizados em pesquisas nacionais e de maior importância são poliácido láctico – PLA, polihidroxialcanoatos–PHA, polímeros de amido – PA, goma xantana –Xan. O poli (ácido láctico) - PLA é ecologicamente correto, biodegradável e compostável, mas apresenta fragilidade mecânica. Compósitos de PLA contendo bioresíduos (cascas e sementes) podem ser uma estratégia para a diminuição do descarte dessas matérias-primas. Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de embalagem biodegradável a base de PLA com a incorporação de casca de cenoura. Foram confeccionadas amostras PLA-casca de cenoura (0, 5, 10, 15 e 25 m/m % casca) por casting. As amostras foram analisadas por FTIR, MEV, teste de textura, teste de degradação em quatro meios diferentes (ácido, básico, água e solo adubado). Os resultados mostram que as amostras em meio aquoso mantiveram praticamente o peso idêntico ao inicial, em meio ácido e básico houve ganho de massa, embora em solo apresentassem perda de massa considerável. Houve diminuição da porosidade do PLA ao adicionar a cenoura, embora a aderência da casca à matriz PLA tenha sido baixa. A resistência mecânica aumentou com o aumento da porcentagem de cenoura no PLA.

**Palavras-chave:** PLA; casca de cenoura; biodegradação.

# **TITLE: DEVELOPMENT OF BIODEGRADABLE PACKAGING BASED ON PLA AND CARROT PEEL**

## **ABSTRACT**

The increasing use of plastic packaging and the negative impact of its improper disposal, the saturation of landfills and dumps, led to the development of biodegradable packaging. In this case, waste disposal has become a critical issue for building an environmentally friendly society. Considering the increasing pressure of limited resources and environmental safety, biodegradable polymers may be a promising way to ease the pressure to dispose of plastic waste. Generally, biodegradable polymers are biopolymers derived from renewable resources, such as saccharides, glycolipids, lipopolysaccharides, proteins and polyhydroxyalkanoates. The most important biodegradable polymers used in national research are polylactic acid – PLA, polyhydroxyalkanoates–PHA, starch polymers – PA, xanthan gum –Xan.Poly (lactic acid) - PLA is a polymer widely used in packaging studies, since it is environmentally friendly, biodegradable, and compostable, but there are some disadvantages in its properties. The improvement of these properties, using mixtures of peels and seeds, has shown satisfactory results and can be a strategy for the reduction of food residues waste. In this context, the goal of this work was to develop biodegradable packaging based on PLA and carrot peel, aiming at the reuse potential food waste, where the biodegradation of polymeric packaging is a crucial factor. The samples were prepared with 0, 5, 10, 15 and 25 w / w% of carrot peel in PLA. PLA / carrot peel degradation was investigated in four different media: acid, basic, water and composted soil. The results show that the samples in aqueous medium maintained almost the same weight as the initial one, in acidic and basic medium there was mass gain, while in fertilized soil they showed significant mass loss. The results in scanning electron microscopy (SEM) and infrared by Fourier transform (FTIR), showed that there was a decrease in the porosity of the PLA when adding the carrot and little adherence of the carrot to the PLA matrix. The mechanical resistance increased with the increase in the percentage of carrots in the PLA.

**Keywords:** biodegradable packaging; PLA; carrot peel.



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Funções das embalagens. ....	16
<b>Tabela 2:</b> Embalagens rígidas, semirrígidas e flexíveis. ....	16
<b>Tabela 3:</b> Conteúdo de umidade, solubilidade em água e permeabilidade ao vapor de água dos filmes de resíduos de gelatina e de cenoura. ....	31
<b>Tabela 4:</b> Formulação das amostras. ....	34

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Classificação de alguns polímeros biodegradáveis de acordo com sua fonte de obtenção. Fonte: (G. F. BRITO, 2011).....	19
<b>Figura 2</b> - Estrutura do Poliacido láctico. Fonte: (G. F. BRITO, 2011). .....	21
<b>Figura 3</b> - Polimerização do ácido láctico. Fonte: Adaptado de (HENTON, GRUBER, et al., 2005). .....	22
<b>Figura 4</b> - Esterioisômeros do ácido láctico. Fonte: Adaptado de (AHMED e VARSHNEY, 2010).....	22
<b>Figura 5</b> - Esquema da produção de PLA via pré-polímero e lactídeo.Fonte: Adaptado de (HENTON, GRUBER, et al., 2005).....	23
<b>Figura 6</b> - Processo não solvente para preparar o poliacido láctico. Fonte:Adaptado de (HENTON, GRUBER, et al., 2005). .....	24
<b>Figura 7</b> - Ciclo de vida dos polímeros polilactídeos. Fonte: Adaptado de (RAFAEL AURAS, 2004). .....	25
<b>Figura 8</b> - A primeira bandeja de alimentos do mundo em PLA 100% biodegradável expandida obtida a partir de matérias-primas renováveis.Fonte: (COOPBOX, [s.d])....	25
<b>Figura 9</b> - Talheres feitos de PLA 100% biodegradáveis. Fonte: (BIOWARE, 2020)..	26
<b>Figura 10</b> - Potencial de valorização de resíduos agroindustriais de origem vegetal e animal. Fonte: (ROSA, SOUZA FILHO, et al.) .....	28
<b>Figura 11</b> : Fluxograma das atividades realizadas. ....	33
<b>Figura 12</b> : Cascas da cenoura higienizadas. ....	34
<b>Figura 13</b> : Casca de cenoura triturada.....	35
<b>Figura 14</b> : Diluição das cascas de cenoura e PLA em diclorometano, sob agitação magnética.....	35
<b>Figura 15</b> : Misturas vertidas em placa de petri após completa dissolução do PLA. ....	35
<b>Figura 16</b> : Ensaio de textura das amostras. ....	36
<b>Figura 17</b> - Aspecto visual das amostras: (a) PLA, (b) PLA-5, (c) PLA-10, (d) PLA-15, (e) PLA-25.....	38
<b>Figura 18</b> - Microscopia da amostra PLA: (a) imagem topográfica com ampliação 100x, (b) 250x, (c) 500x e (d) 1000x. ....	40
<b>Figura 19</b> - Micrografia da amostra PLA-5: (a) imagem topográfica com ampliação 100x, (b) 250x, (c) 500x e (d) 1000x. ....	40
<b>Figura 20</b> - Microscopia da amostra PLA-10: (a) imagem topográfica com ampliação 100x, (b) 250x, (c) 500x e (d) 1000x. ....	41
<b>Figura 21</b> - Microscopia da amostra PLA-15: (a) imagem topográfica com ampliação 100x, (b) 250x, (c) 500x, (d) 1000x, (e) 2000x e (f) 2500. ....	42
<b>Figura 22</b> - Microscopia da amostra PLA-25: (a) imagem topográfica com ampliação 100x, (b) 250x, (c) 500x e (d) 1000x. ....	43
<b>Figura 23</b> - Efeito da composição de cenoura nas propriedades mecânicas do PLA. ...	43
<b>Figura 24</b> - Espectro de FTIR para as amostras PLA, PLA-5, PLA-10, PLA-15 e PLA-25.....	44
<b>Figura 25</b> : Espectro de FTIR da casca de cenoura pura.....	45

<b>Figura 26</b> - Comportamento das amostras no teste de degradação na água. ....	46
<b>Figura 27</b> - Amostras (a) 0 dias e (b) 100 dias, meio aquoso. ....	46
<b>Figura 28</b> - Comportamento das amostras no teste de degradação em meio ácido. ....	47
<b>Figura 29</b> - Comportamento das amostras no teste de degradação em meio ácido, (a) 0 dias e (b) 100 dias. ....	47
<b>Figura 30</b> - Comportamento das amostras no teste de degradação em meio básico. ....	48
<b>Figura 31</b> - Amostras (a) 0 dias e (b) 100 dias, meio básico. ....	48
<b>Figura 32</b> - Comportamento das amostras no teste de degradação em solo. ....	49
<b>Figura 33</b> - Amostras (a) 0 dias e (b) 100 dias em solo. ....	49
<b>Figura 34</b> - Taxa de variação de massa das amostras após 3 meses nos meios. ....	50

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
<b>1.1 OBJETIVOS</b> .....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	15
<b>2.1 Embalagem</b> .....	15
<b>2.1.1 Impacto Ambiental do Descarte de Plásticos</b> .....	17
<b>2.1.2 Embalagens Biodegradáveis</b> .....	18
<b>2.2 Poliacido láctico - PLA</b> .....	20
<b>2.2.1 Obtenção do PLA</b> .....	21
<b>2.2.2 Embalagens de PLA</b> .....	24
<b>2.3 Resíduos Orgânicos</b> .....	26
<b>2.3.1 Reaproveitamentos de cascas</b> .....	27
<b>2.4 Reaproveitamento de Casca de Alimento em Embalagem</b> .....	28
<b>2.4.1 Reaproveitamento da casca de cenoura</b> .....	29
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
<b>3.1. Materiais</b> .....	33
<b>3.2. Métodos</b> .....	34
<b>3.2.1. Preparo das amostras</b> .....	34
<b>3.2.2. Ensaio Mecânico</b> .....	35
<b>3.3.4. Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV</b> .....	36
<b>3.3.5. Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier – FTIR</b> .....	36
<b>3.3.6. Teste de Degradação</b> .....	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	38
<b>4.1 Aspecto macroscópico das amostras</b> .....	38
<b>4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura</b> .....	39
<b>4.2 Ensaio mecânico</b> .....	43
<b>4.3 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier</b> .....	44
<b>4.4 Teste de degradação</b> .....	45
5 CONCLUSÕES.....	51
<b>5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	51
6 REFERÊNCIAS.....	52

## 1.INTRODUÇÃO

As embalagens têm como função principal garantir a proteção e qualidade do produto. Segundo Santos e Yoshida, 2011 “*a embalagem tem que vender o que protege e proteger o que vende ou a embalagem é a arte, a ciência e a técnica de acondicionar o produto para que ele seja transportado, vendido e consumido*”. Ainda de acordo com os autores há relatos do surgimento de embalagens com data de 10 mil anos. Com a necessidade de migrações e procura de novos lugares surgiu a necessidade de acondicionar produtos e as embalagens desde então foram evoluindo.

Com a evolução humana e a necessidade de novos tipos de embalagens, mais resistentes e mais eficientes, foi surgindo também a necessidade de um descarte adequado e embalagens mais inteligentes e ambientalmente corretas. Conforme Ana Landim relata a vida moderna e o avanço da tecnologia vem causando um aumento dos resíduos sólidos. O consumo por produtos industrializados requer várias embalagens e vêm ocasionando o aumento de resíduos e o conseqüente o impacto ambiental. Uma sociedade bem desenvolvida deveria usar seus recursos naturais de forma inteligente e sustentável (LANDIM, 2016). O desenvolvimento de embalagens biodegradáveis, políticas públicas de estímulo ao uso de embalagens ambientalmente amigáveis, e a conscientização da sociedade são algumas formas que pretendem a diminuição do impacto ambiental (ABRE, CETESB, CETEA, 2016; FILHO, SOUZA e CASTRO, 2019).

Dentro do conceito de embalagens ambientalmente amigáveis, estão os polímeros biodegradáveis que são polímeros derivados de fontes renováveis (como sacarídeos, glicolípídios, lipopolissacarídeos, proteínas e poli-hidroxicanoato (poliésteres vegetais / microbianos)) ou sintetizados a partir de recursos renováveis como poliésteres produzidos a partir de recursos biológicos podem sofrer com a ação de microrganismos, porém essas ações dependem de fatores como o tipo de microrganismos, condições externas (temperatura, umidade, pH, luz, O<sub>2</sub>) e também das propriedades do polímero (LV, ZHANG *et al.*, 2018; DEBIAGI, IVANO, *et al.*, 2012).

O poliácido láctico é um dos polímeros biodegradáveis mais utilizados no desenvolvimento de embalagens biodegradáveis. Uma das características mais atraentes do PLA é sua potencial degradabilidade no solo. Portanto, o seu produto de degradação (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O etc.) pode voltar a se incorporar no ciclo do carbono no meio ambiente. No entanto, o PLA é mais caro e sua taxa de degradação é lenta para as aplicações de curto prazo (LV, ZHANG *et al.*, 2018). Os produtos à base de PLA têm sido usados com sucesso em variados produtos (embalagens como caixas de fast-food, vasos de plantas etc.). Esses produtos são usados como aplicações de curto prazo, que devem ser eliminadas de forma econômica e abordagem conveniente. Aterro ou compostagem é um dos métodos eficazes e métodos de descarte adequados para satisfazer as condições econômicas e convenientes. Estudos sobre materiais biodegradáveis à base de PLA com relação a seu comportamento e mecanismo de biodegradação são importantes para sua aplicação e desenvolvimento. O PLA tem ótimas propriedades biocompatíveis e biodegradáveis, porém existem algumas desvantagens como baixa cristalinidade, baixa propriedades de barreira a gases, alta fragilidade, alta degradação hidrolítica. A utilização

de fibras naturais de origem vegetal é uma alternativa de reforço nas propriedades e tem sido foco de vários estudos (FUKUSHIMA, FEIJOO e YANG, 2012; DEBIAGI, IVANO, *et al.*, 2012).

A utilização de fibras e resíduos de origem vegetal oriunda dos setores agroindustriais vêm sendo utilizados em compósitos para agregar valores a subprodutos e desse modo reduzem o descarte desses resíduos no meio ambiente. As investigações são promissoras quanto à futuras aplicações em ramos industriais (LAUFENBERG, KUNZ e NYSTROEM, 2003). De acordo com Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) “*O mundo descarta, aproximadamente, um terço do alimento produzido globalmente, o equivalente a 1,3 bilhão de toneladas anuais*” (EMBRAPA, [s.d.]). A cenoura (*Daucus carota* L) é uma das raízes populares vegetais cultivados em todo o mundo, seu bagaço contém cerca de 50% de  $\beta$ -caroteno, além de compostos bioativos e fibras. A cenoura está entre os vegetais mais desperdiçados no Brasil, cerca de 30%. (SHARMA, KARKI, *et al.*, 2012).

### 1.1 OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho foi preparar e caracterizar filme de poliácido láctico (PLA) com casca de cenoura para o desenvolvimento de embalagem biodegradáveis. Os filmes foram feitos em diferentes composições e foram utilizados diversos métodos de análise (microestrutural, aspecto visual, mecânica e decomposição). Para isso, os objetivos específicos são:

- Confeccionar amostras de PLA e cascas de cenouras em diferentes composições
- Estudar o tempo de decomposição das amostras em diferentes meios: ácidos, básicos, aquoso e solo.
- Estudar o efeito da composição das amostras nas propriedades mecânicas;
- Analisar a microestrutura das diferentes amostras.

Esta dissertação está dividida em mais quatro capítulos. O capítulo 2 é referente a revisão bibliográfica, onde serão mostradas as definições de embalagens e suas classificações, alguns problemas enfrentados no meio ambiente com o descarte inadequado de embalagens, algumas soluções de filmes embalagens biodegradáveis e embalagens 100% biodegradáveis já disponíveis no mercado. O capítulo 3 descreve a metodologia utilizada para a confecção e análise das amostras. O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos nas análises deste trabalho, discuti e compara os resultados com a literatura de referência. Finalmente, o capítulo 5 aponta as principais conclusões em relação aos resultados, assim como sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A motivação para esse trabalho partiu da observação do descarte inadequado de produtos plásticos, em especial de embalagens de alimentos, assim como os resíduos de alimentos. Esse descarte de resíduos que prejudica tanto o meio ambiente quanto os seres humanos macro e microscopicamente, tornando o ambiente impróprio para uma vida saudável. O descarte de resíduos de alimento é entendido como descarte de material com grande potencial para aplicações em tecnologia. O desenvolvimento de material plástico contendo cascas de cenoura uniu resíduo de alimento a um polímero ambientalmente correto.

### 2.1 Embalagem

A embalagem pode ser definida como um conjunto de materiais de invólucro que serve para a proteção dos produtos durante a distribuição até a chegada ao consumidor. A principal função da embalagem é proteger o produto, mantendo este em segurança e garantido a qualidade. De acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), *“a definição para embalagem é um recipiente ou pacote destinado a garantir a proteção e conservação, facilitando também o transporte e manuseio”* (ANVISA, 2002). A embalagem pode receber inúmeras definições conforme sua funcionalidade em determinada fase do produto. Já Philip Kotler atribui a embalagens a função de proteger os produtos contra possíveis danos mecânicos e perda de qualidade (KOTLER, 2000).

As embalagens podem ser classificadas em três tipos: embalagem primária, embalagem secundária e embalagem de remessa ou transporte. Embalagem tem a finalidade de acondicionar e proteger o produto (da fabricação até o consumidor final), fazer a identificação e a informação do produto, e proporcionar um visual atrativo para a venda do produto (NEGRÃO e CAMARGO, 2008). Ela é de suma importância para a proteção do produto, durante todas as etapas de distribuição, armazenamento, comercialização, manuseio e consumo. Deve proporcionar qualidade, mantendo a integridade do produto, garantindo que tenha todas as informações necessárias, como validade, composição e código para rastreamento do lote (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, [2019?]). Segundo Jorge, *“a embalagem desempenha um papel fundamental na indústria alimentícia graças às suas múltiplas funções. Além de conter o produto, a embalagem é muito importante na sua conservação, mantendo qualidade e segurança, atuando como barreira contra fatores responsáveis pela deterioração química, física e microbiológica”* (JORGE, 2013, p. 19).

As embalagens, para atenderem as demandas da sociedade moderna e garantirem a qualidade dos produtos que chegam até o consumidor, devem seguir as funções listadas na Tabela 1 (ABRE,CETESB,CETEA, 2016). As embalagens também seguem um critério de classificação como mencionado por Kotler e Jorge, podem ser primária, secundária e terciária. As embalagens primárias são as que entram contato diretamente com o produto, como garrafas. As embalagens secundárias são as que contêm uma ou mais embalagens primárias. As embalagens terciárias ou embalagem de transporte, são as que contêm uma ou mais unidade das embalagens primárias ou secundárias para garantir a integridade das embalagens primárias e secundárias (KOTLER, 2000 e JORGE, 2003). Existem outras classificações com relação ao tipo de material, Tabela 2.

**Tabela 1:** Funções das embalagens.

Funções	Atributos
Proteção	Prevenir danos mecânicos, deterioração do produto (ser barreira a gases, umidade, luminosidade, aromas etc.), contaminação externa e adulteração, e aumentar a vida de prateleira do produto.
Promoção	Proporcionar estética e apelo de venda; apresentar e descrever o produto e suas características; e ser instrumento de propaganda e marketing.
Informação	Identificar o produto; descrever seu modo de preparo e uso; listar ingredientes; e apresentar informações nutricionais e instruções para armazenamento, abertura, de segurança e de descarte, tanto do produto como da própria embalagem.
Logística e manuseio	Viabilizar o transporte eficiente do produtor até o varejista e a exposição no ponto de venda.
Conveniência e individualização	Facilitar o preparo, armazenamento, porcionamento (compra individualizada) e consumo.
Sustentabilidade	Reduzir a perda de produto e permitir a reutilização da embalagem, auxiliar e orientar o descarte do produto e da embalagem; proteger o produto e permitir a estocagem adequada garantindo sua maior durabilidade; viabilizar um transporte eficiente; apresentar oportunidades no uso de matérias-primas alternativas e renováveis.

Fonte: Adaptado de ABRE, CETESB, CETEA, 2016

**Tabela 2:** Embalagens rígidas, semirrígidas e flexíveis.

Material	Metálica	Plástica	Vidro	Papel
Rígidas	Latas em folhas de flandres e alumínio	Bandejas, garrafas, potes e caixas	Garrafas e frascos	Caixas de papelão
Semirrígidas	Bandejas de alumínio	Bandejas em poliestireno expandido	-	Caixas e cartuchos em cartolina
Flexíveis	Folha de alumínio, Estruturas laminadas	Filmes Estruturas laminadas	-	Folhas de papel, Estruturas laminadas

Fonte: Adaptada (Jorge, Embalagens para Alimentos, 2013)

Com o avanço da tecnologia as embalagens foram ganhando múltiplas funções e essas foram conduzindo às embalagens inteligentes, ativas, sustentáveis ou ambientalmente corretas, embora não existam muitas opções destas últimas no mercado. De acordo com Landim, existe pouco investimento para as embalagens ditas sustentáveis. As indústrias optam por embalagens recicláveis para melhorar o marketing, fugindo do propósito sustentabilidade. As indústrias de embalagens que utilizam matéria prima



oriunda de recursos renováveis ou utilizam embalagens biodegradáveis são poucas (LANDIM, 2016).

Os plásticos têm maior participação no valor da produção de embalagens, correspondendo a 41% do total, seguido de papel/cartão/papelão (30%), metal (19%), vidro (6%), têxteis (3%) e madeira (1%). A indústria de embalagens mostrou um crescimento, onde os setores de alimentos e bebidas são os maiores consumidores (ABRE, [2020?]).

Com isso, a indústria de embalagens de alimentos apresenta crescente interesse no desenvolvimento de novos materiais e de processos que garantam que os alimentos contidos sejam seguros e saudáveis, e para aumentar a vida útil, questão essencial nas modernas estratégias de distribuição e comercialização. Além disso, o uso de *commodities* aumentou muito nas últimas décadas em aplicações de embalagens de alimentos. Entre os materiais de embalagens de alimentos, os polímeros têm uma participação importante devido à sua versatilidade e à vantajosa relação desempenho / custo (ARANTZAZU VALDÉS, 2014). De acordo com Associação Brasileira de Embalagem (ABRE),

“Ao exercer a função de proteger o produto até o consumidor, a embalagem deve permitir ganhos ambientais superiores aos impactos de sua produção, uso e disposição final, o que pode ser viabilizado por meio de um projeto adequado. Projeto esse que considera todos os aspectos do ciclo de vida dessa embalagem, desde as matérias-primas usadas em sua fabricação, seu uso e destinação final. Embora o resíduo de embalagem ainda componha percentual significativo no resíduo sólido urbano, é perceptível que o valor agregado desse resíduo possui um grande potencial para uma economia circular” (ABRE, CETESB, CETEA, 2016).

No entanto, a maioria dos polímeros usados para embalagens de alimentos não é biodegradável ou compostável e, portanto, representa um problema de descarte cada vez mais sério no mundo. Embora a estabilidade da embalagem de alimentos durante a vida útil do produto seja uma vantagem, ela se torna uma desvantagem quando as embalagens entram na fase pós-uso. Em consequência, o uso de materiais poliméricos obtidos a partir de recursos não renováveis (geralmente não biodegradáveis) em aplicações de embalagens resulta em impactos ambientais e geração de resíduos. (ARANTZAZU VALDÉS, 2014).

Segundo estudos de Ana Landim, para que as embalagens sejam sustentáveis devem ser fabricadas com matérias primas de fontes renováveis e utilizando uma produção limpa. Ainda de acordo com a autora, a sustentabilidade também vai depender do comportamento e conscientização do consumidor final, uma vez que correlaciona com descarte correto de embalagens (LANDIM, 2016).

### **2.1.1 Impacto Ambiental do Descarte de Plásticos**

No mundo moderno e globalizado é difícil não se deparar com algum tipo de plástico no dia a dia. A modernidade trouxe facilidade e com ela, os plásticos com sua vida útil curta, descarte inadequado e uso desenfreado. Segundo Ministério do Meio Ambiente (MMA), “*um terço do lixo doméstico é composto de embalagens. Cerca de 80% das embalagens são descartadas após usadas apenas uma vez*” (MMA, [s.d]). Ainda de acordo com o autor, em torno de um quinto do lixo do Brasil é constituído por

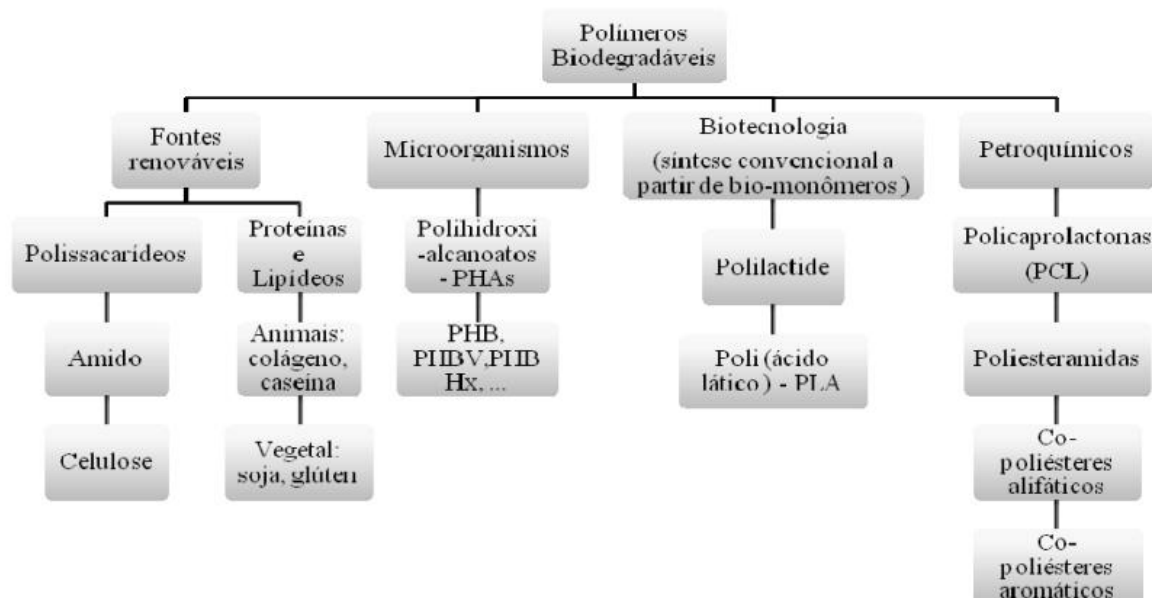
embalagens. Cerca de 25 mil toneladas de embalagens são encaminhadas para aterros sanitários. Estas embalagens poderiam estar sendo recicladas e/ou reutilizadas. O descarte inadequado contribui para a saturação dos aterros e lixões, dificulta a degradação de outros resíduos e aumenta os danos ambientais.

Os plásticos, devido às suas diversas aplicações em todo o espectro da civilização humana, tornaram-se material ubíquo na sociedade humana. O uso excessivo de plásticos e seu gerenciamento e descarte inadequados resultaram em impactos negativos no meio ambiente e criaram problemas para o ecossistema global (RUCHA V. MOHARIR, 2018). Em um estudo feito por Ferreira, verificou-se que o acúmulo de resíduos plásticos no mar está cada vez mais chamando atenção para o impacto ambiental que o plástico significa para a vida marinha. O lixo mais encontrado foram embalagens de alimentos. Foram encontradas 17 tartarugas marinhas mortas, todas tinham resíduos de plásticos em seu trato gastrointestinal (FERREIRA, 2015).

De acordo com Sheavly e Register, além da educação e da legislação, algumas soluções para o problema dos detritos marinhos de plástico virão de tecnologias inovadoras que aumentarão a biodegradabilidade e a fotodegradabilidade dos plásticos. Mas é preciso dizer que essas estratégias de mitigação não eliminarão a necessidade de educação e mudanças comportamentais. Existem algumas alternativas para a substituição dos plásticos das embalagens. Esse uso poderia ser menos prejudicial ao meio ambiente, mas exigiria estratégias modificadas de gerenciamento de resíduos (SHEAVLY e REGISTER, 2007).

### **2.1.2 Embalagens Biodegradáveis**

Com o crescente consumismo da sociedade moderna cresceu também a preocupação com descartes de materiais e resíduos no meio ambiente, umas das soluções para esse problema seria as embalagens biodegradáveis. O setor de embalagens para alimentos contribui para o descarte não racional. Os plásticos se tornaram indispensáveis para a sociedade moderna, mas quando descartados de forma incorreta impactam meio ambiente. Em virtude da preocupação com o meio ambiente, alternativas usam “novos” materiais para fabricação de embalagens ambientalmente corretas, como os polímeros verdes e os polímeros biodegradáveis (LANDIM, 2016). Os polímeros verdes são sintetizados com matérias-primas provenientes de fontes renováveis (Figura 1), embora não sejam necessariamente biodegradáveis. Polímeros biodegradáveis são polímeros em que a degradação ocorre pela ação de micro-organismos (bactérias, algas e fungos), que convertem o material em biomassa, dióxido de carbono e água. A degradação ocorre em semanas ou meses sob condições favoráveis (G. F. BRITO, 2011).



**Figura 1** - Classificação de alguns polímeros biodegradáveis de acordo com sua fonte de obtenção.  
Fonte: (G. F. BRITO, 2011).

A degradação desses biopolímeros ocorre em três estágios: biodeterioração, biofragmentação e assimilação. Durante o processo de degradação, polímeros são quebrados em cadeias curtas e / ou oligômeros, seguidos por assimilação e mineralização microbiana, resultando em dióxido de carbono, água, metano, biomassa e sais minerais (LV, ZHANG, *et al.*, 2018). A biodeterioração de materiais poliméricos ocorre na superfície do material, modificando suas propriedades mecânicas, químicas e físicas. Na biofragmentação, os microrganismos usam diferentes meios para incorporar os polímeros, secretando enzimas específicas ou gerando radicais livres. Já na assimilação, os microrganismos crescem e se reproduzem enquanto consomem os nutrientes do substrato (o polímero) (LUCAS, BIENAIME, *et al.*, 2008).

Dentro do conceito de biodegradação estão os plásticos biodegradáveis e os plásticos compostáveis, embora haja uma diferença na degradação desses dois polímeros. De acordo com Joseph Greene, os plásticos compostáveis degradam nas instalações de compostagem e se decompõem em água, metano, dióxido de carbono e biomassa. Os microrganismos no solo ou no composto degradam o polímero de etapas que podem ser medidas por teste padrão, em períodos especificados. Os plásticos compostáveis são definidos de acordo com a norma ASTM D6400 como materiais que sofrem degradação por processos biológicos durante a compostagem para produzir dióxido de carbono, compostos inorgânicos da água e biomassa a uma taxa consistente com outros materiais compostáveis conhecidos, e não deixam resíduos visíveis, distinguíveis ou tóxicos (GREENE, 2007). Já os plásticos biodegradáveis, também chamados de plásticos biológicos ou bioplásticos, se degradam em ambientes favoráveis pela ação de microrganismos, resultando em dióxido de carbono, água e biomassa (FRANCHETTI e MARCONATO, 2006).

Com isso estudos para o desenvolvimento de filmes/embalagens biodegradáveis adicionando carga de origem vegetal para o melhoramento das propriedades estão sendo feito. Em uma pesquisa feita por Vostrejs, Adamcov, foi estudada a eficácia da lignina isolada de sementes de uva na eliminação de radicais de polihidroxialcanoatos. Filmes de PHB / PHA foram preparados, a ductilidade do poli (3-hidroxi butirato) foi melhorada pela mistura com poli-hidroxialcanoato amorfo. No entanto, a estabilidade térmica da mistura de PHB / PHA em comparação com o PHB puro diminuiu. A adição de lignina de semente de uva melhorou significativamente a estabilidade térmica da mistura de PHB / PHA. A lignina de semente de uva provou ser um antioxidante eficaz mesmo após a adição ao filme de PHB / PHA. Além disso, atuou como um agente nucleante. Portanto, por um lado, aumentou o grau de cristalinidade e rigidez do filme e, por outro lado, contribuiu para a menor permeabilidade ao oxigênio e dióxido de carbono dos filmes. Os filmes de PHB / PHA contendo lignina se degradaram no composto. Além disso, constatou-se que a biomassa obtida após a compostagem foi capaz de estimular a germinação da mostarda branca. Estes resultados ilustram que os filmes PHB / PHA / Lignina de sementes de uva podem expandir a aplicabilidade de polihidroxialcanoatos em embalagens de alimentos como filmes biodegradáveis e bioativos, mostrando alta atividade de eliminação de radicais. As propriedades do material, os resultados de biodegradação e não fitotoxicidade mostraram que os filmes de PHA / PHB contendo lignina de sementes de uva não poluiriam o meio ambiente após o término de sua vida útil (VOSTREJS, ADAMCOV, *et al.*, 2020).

Os polímeros biodegradáveis mais utilizados para o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis com relação ao mercado brasileiro e de maior importância são poliácido láctico – PLA, polihidroxialcanoatos–PHA, polímeros de amido – PA, goma xantana –Xan. (PRADELLA, 2006; G. F. BRITO, 2011). O PLA é um dos principais biopolímeros da categoria dos polímeros biodegradáveis devido às propriedades físicas e mecânicas apresentadas por ele (SILVA, OLIVEIRA e ARAÚJO, 2014).

## 2.2 Poliácido láctico - PLA

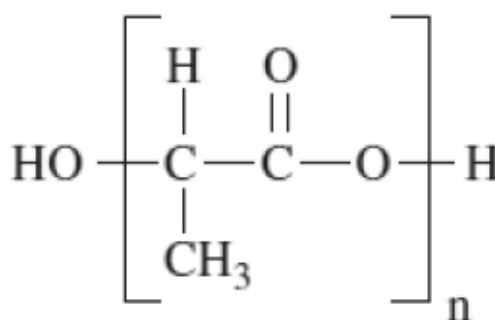
O poliácido láctico (PLA) foi descoberto em 1932 por Carothers (DuPont), que produziu material de baixo peso molecular ao aquecer o ácido láctico sob vácuo. Em 1954, Du Pont produziu um polímero com um peso molecular maior, que foi patenteado. Alguns registros antigos atribuem a descoberta a Théophile-Jules Pelouze em 1845 que teria obtido PLA de baixo peso molecular (BARBOSA, 2018).

Os polímeros à base de ácido láctico são conhecidos como polilactídeos. O PLA é produzido por polimerização de abertura de anel (ROP) de lactídeos ou por polimerização por condensação dos monômeros de ácido láctico. Esses monômeros são obtidos a partir da fermentação de milho, açúcar de beterraba, açúcar de cana etc. O PLA possui notáveis propriedades mecânicas, plasticidade térmica e biocompatibilidade (AHMED e VARSHNEY, 2010).

O poliácido láctico (PLA) é um poliéster alifático constituído por monômeros de ácido láctico (2-hidroxi propioníco), Figura 2. É também um termoplástico biodegradável e compostável derivado de fontes vegetais renováveis, como amido e açúcar. Historicamente, os usos do PLA têm sido limitados principalmente a área

biomédica devido às suas características bioreabsorvíveis. Na última década, as descobertas de novas rotas de polimerização que permitem a produção econômica de PLA de alto peso molecular, juntamente com a elevada conscientização ambiental do público em geral, resultaram em disseminado uso de PLA para bens de consumo e aplicações de embalagem (L.-T. LIM, 2008).

As propriedades do PLA de alto peso molecular são determinadas pela composição estereoquímica do polímero e pela massa molecular, que é controlada pela adição de compostos hidroxílicos. A capacidade de controlar a arquitetura estereoquímica se dá através de controle sobre a velocidade da cristalização / grau de cristalinidade, que afeta propriedades mecânicas e as temperaturas de processamento do material, bem como o comportamento de degradação, que é dependente da cristalinidade das amostras (RAFAEL AURAS, 2004).



**Figura 2** - Estrutura do Políácido láctico. Fonte: (G. F. BRITO, 2011).

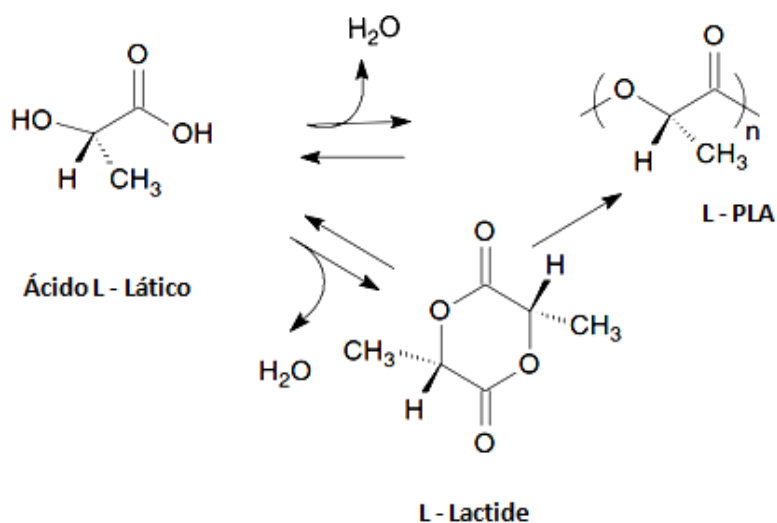
### 2.2.1 Obtenção do PLA

O poliácido láctico (PLA) é um polímero termoplástico biodegradável que pode ser semicristalino ou amorfo, dependendo da estrutura do polímero. O ácido L (-) -lático (ácido 2-hidroxipropiônico) é a forma natural e mais comum do ácido, mas o ácido D (+) -lático também pode ser produzido por microrganismos ou por racemização (mistura racêmica). Na última, a "impureza" adicionada age como comonômero em outros polímeros, como tereftalato de polietileno (PET) ou polietileno (PE). No PET, o dietileno glicol e o ácido isoftálico são copolimerizados no esqueleto em níveis baixos para controlar a taxa de cristalização. Da mesma forma, as unidades de ácido D-lático são incorporadas ao L-PLA para otimizar a cinética de cristalização para processos e aplicações específicas de fabricação. A estereoquímica do PLA é complexa devido à natureza quiral dos monômeros de ácido láctico, com isso ocorre uma inversão da posição do grupo CH<sub>3</sub> com o hidrogênio. O poliácido D-lático (PDLA) e o poliácido L-lático (PLLA) são semicristalinos e têm propriedades químicas e físicas idênticas (HENTON, GRUBER, *et al.*, 2005; ZHANG e N, 2005).

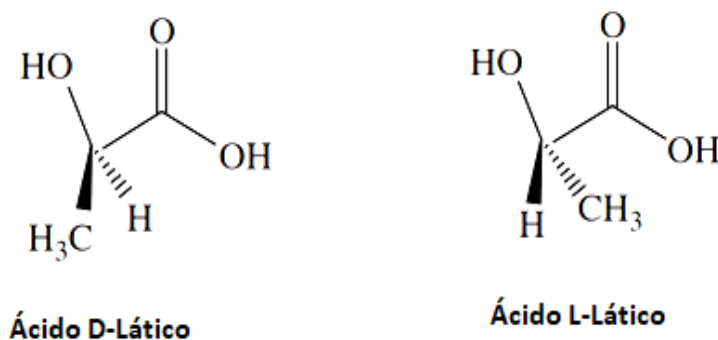
O envolvimento das unidades D e L nas sequências de PLLA e PDLA tem um efeito profundo em suas propriedades térmicas e mecânicas. Geralmente, uma razão estereoisomérica aumentada diminui a cristalinidade e, conseqüentemente, à temperatura de fusão mais baixa. Assim, o controle da proporção do teor de monômero L para D é uma característica molecular importante do PLA. O PLA pode ser preparado tanto pela condensação direta do ácido láctico quanto pela polimerização de abertura do anel do

dímero de lactídeo cíclico, como mostra a Figura 3. A figura 4 mostra os estereoisômeros do ácido láctico (HENTON, GRUBER, *et al.*, 2005; ZHANG e N, 2005).

O PLA é um polímero que, de várias maneiras, se comporta como o PET, mas também se comporta muito como o polipropileno (PP), uma poliolefina. O PLA pode ser o polímero com a mais ampla gama de aplicações devido à sua capacidade de ser cristalizado por tensão, cristalizado termicamente, modificado por impacto, preenchido, copolimerizado e processado na maioria dos equipamentos de processamento de polímeros. Pode ser conformado em filmes transparentes, fibras ou moldado por injeção em pré-formas por sopro, como o PET. O PLA também possui excelentes características organolépticas e é excelente para contato com alimentos e aplicações de embalagens (HENTON, GRUBER, *et al.*, 2005).



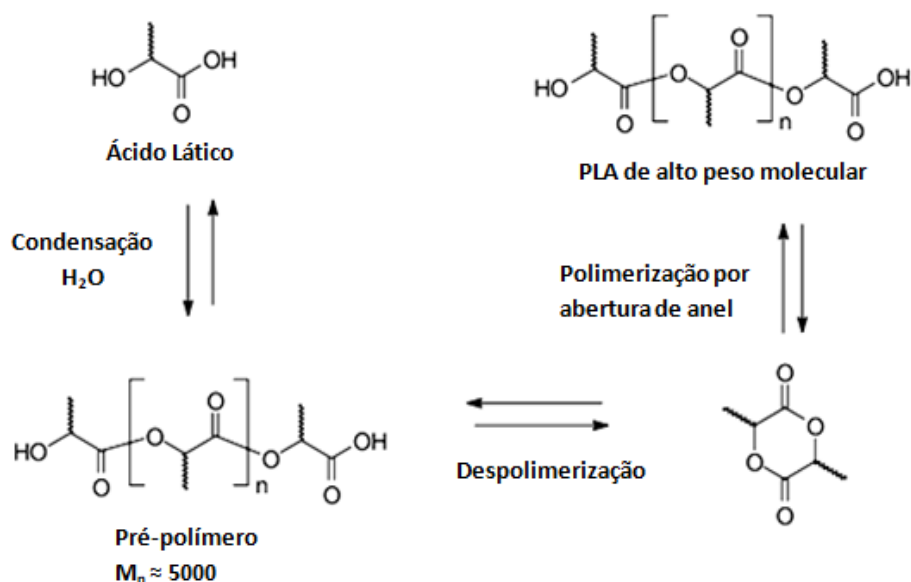
**Figura 3** - Polimerização do ácido láctico. Fonte: Adaptado de (HENTON, GRUBER, *et al.*, 2005).



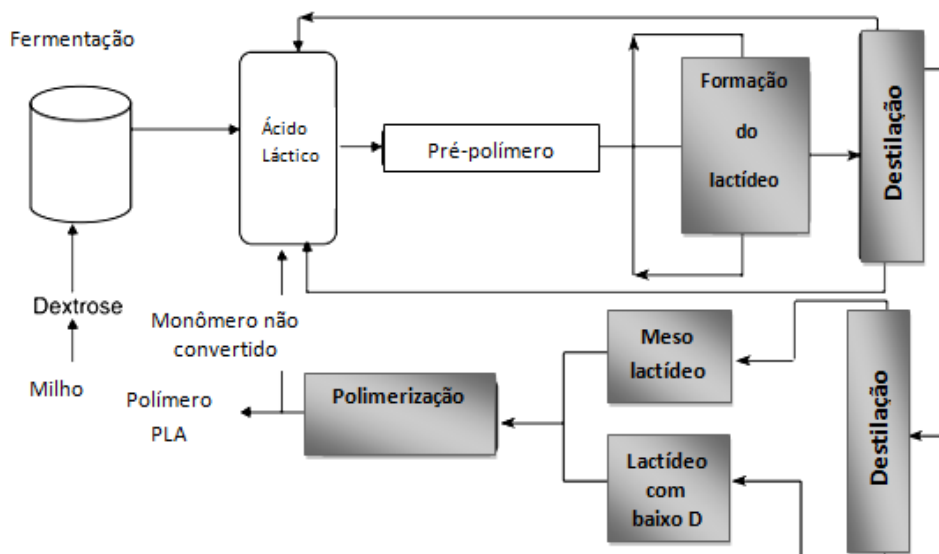
**Figura 4** - Esterioisômeros do ácido láctico. Fonte: Adaptado de (AHMED e VARSHNEY, 2010).

A Cargill Dow LLC desenvolveu um processo contínuo e de baixo custo patenteado para a produção de polímeros à base de ácido láctico. O processo combina os benefícios ambientais e econômicos da síntese de lactídeo e PLA, onde pela primeira vez obteve-se um polímero *commodity* biodegradável comercialmente viável, feito a partir de

recursos renováveis. O processo começa com o ácido lático produzido pela fermentação da dextrose, seguido por uma reação de condensação contínua do ácido lático aquoso para produzir o pré-polímero de PLA de baixo peso molecular (Figura 5). Em seguida, os oligômeros de baixo peso molecular são convertidos em uma mistura de estereoisômeros de lactídeo usando um catalisador para aumentar a taxa e a seletividade da reação de ciclização intramolecular. A mistura de lactídeo fundido é então purificada por destilação sob vácuo. Finalmente, o polímero com alto peso molecular é produzido usando polimerização de lactídeo com abertura de anel catalisada por organo-estanho, eliminando completamente o uso de solventes dispendiosos e não amigáveis ao meio ambiente. Após a polimerização estar concluída, qualquer monômero restante é removido sob vácuo e reciclado para o início do processo (Figura 6). (HENTON, GRUBER, *et al.*, 2005).



**Figura 5** - Esquema da produção de PLA via pré-polímero e lactídeo. Fonte: Adaptado de (HENTON, GRUBER, *et al.*, 2005).



**Figura 6** - Processo não solvente para preparar o poliácido láctico. Fonte: Adaptado de (HENTON, GRUBER, et al., 2005).

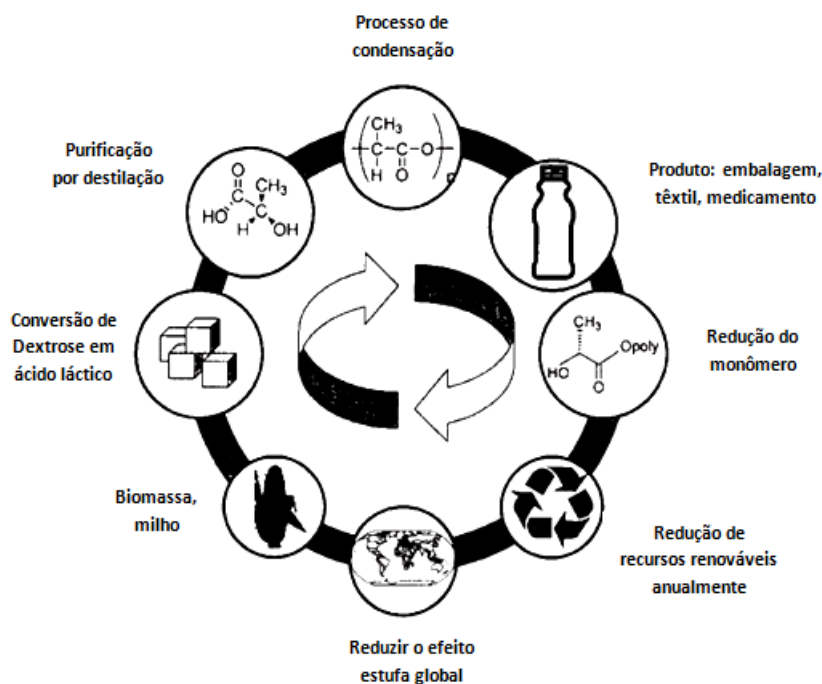
O PLA foi amplamente estudado para uso em aplicações médicas devido às suas propriedades bioabsorvíveis e biocompatíveis. Devido ao seu custo mais alto, o foco inicial do PLA como material de embalagens tem sido em filmes de alto valor, termoformas rígidas, recipientes para alimentos e bebidas e papéis revestidos (RAFAEL AURAS, 2004).

### 2.2.2 Embalagens de PLA

Como o PLA é compostável e derivado de fontes renováveis, foi considerado uma das soluções para os problemas de descarte de resíduos sólidos e para diminuir a dependência de plásticos à base de petróleo para materiais de embalagem. Embora o PLA possa ser processado em equipamentos de conversão padrão com modificações mínimas, suas propriedades únicas devem ser levadas em consideração para otimizar a conversão do PLA em peças, filmes, espumas e fibras moldadas (L.-T. LIM, 2008).

O PLA pode ser aplicado em vários produtos, pois as tecnologias de produção modernas e emergentes reduzem seus custos de produção. A produção de PLA apresenta inúmeras vantagens: pode ser obtida de uma fonte agrícola renovável (milho); sua produção consome dióxido de carbono; proporciona economia de energia; é reciclável e compostável; contribui para economia agrícola; e as propriedades físicas e mecânicas podem ser adequadas conforme a arquitetura do polímero. A Figura 7 ilustra o ciclo de vida para PLA, PLLA e DPLA (RAFAEL AURAS, 2004).





**Figura 7** - Ciclo de vida dos polímeros polilactídeos. Fonte: Adaptado de (RAFAEL AURAS, 2004).

De acordo com Rafael Auras, os primeiros estudos econômicos mostraram que o PLA é um material economicamente viável para uso como polímero de embalagem. Em adição, o nível de ácido lático que migra para os alimentos dos recipientes de embalagem é muito menor do que a quantidade de ácido lático usada em alimentos comuns (RAFAEL AURAS, 2004). Ainda de acordo com o autor, o PLA está sendo usado como um polímero de embalagem de alimentos para produtos com vida útil curta, com aplicações comuns, como recipientes, copos, copos de sundae e salada, filmes para invólucros. Além disso, novas aplicações incluem contêineres de PLA termoformados usados no mercado de varejo para frutas e vegetais frescos. Algumas empresas, como a COOPBOX EUROPE já disponibilizam no mercado bandejas para alimentos feitas de PLA expandido e 100% biodegradáveis. A figura 8 mostra a embalagem “Naturalbox”, que é a primeira linha de bandejas "verdes" em PLA obtidas exclusivamente a partir de matérias-primas renováveis que, após o uso, se decompõem completamente em dióxido de carbono, água e biomassa (COOPBOX, [s.d]).



**Figura 8** - A primeira bandeja de alimentos do mundo em PLA 100% biodegradável expandida obtida a partir de matérias-primas renováveis. Fonte: (COOPBOX, [s.d]).

Uma pesquisa feita para o desenvolvimento de filmes em duas camadas a base de amido de ervilha e PLA com o objetivo de usar nas embalagens de tomate cereja mostraram resultados promissores e pode ser uma das alternativa ambientalmente amigáveis. Os experimentos demonstraram que os filmes em dupla camada de amido de ervilha / PLA apresentaram melhores tenacidade, estabilidade térmica, propriedade de barreira, resistência a água e à tração. Apresentou redução da taxa de perda de peso dos tomates e preservou a retenção de ácidos orgânicos e vitamina C (ZHOU, YANG, *et al.*, 2019). Segundo a empresa Bioware as embalagens “BioWare” feitas a base de PLA de amido de milho são muito utilizadas para serviço de fast food no mercado Europeu. Mas existem algumas restrições para a uso desses produtos, como temperaturas abaixo de 40°C (BIOWARE, 2020). A Figura 9 mostra os talheres de PLA 100% biodegradáveis feitas pela BIOWARE.



**Figura 9** - Talheres feitos de PLA 100% biodegradáveis. Fonte: (BIOWARE, 2020).

Em relação aos materiais para embalagens de alimentos, manter a integridade, o sabor e ainda aumentar a vida de prateleira dos alimentos é uma preocupação para as inovações tecnológicas na área. As embalagens biodegradáveis feitas com matrizes poliméricas de fontes renováveis e aditivos naturais são alvo de estudos promissores (MACHADO, B, *et al.*, 2014). Os biopolímeros, de forma geral, são instáveis, o que torna suas propriedades de barreiras não adequadas para embalagens de alimento. No entanto a incorporação de aditivos a esses biopolímeros altera suas propriedades. Os resíduos orgânicos como cascas e polpas de frutas e legumes vem mostrando bons resultados como aditivos para melhorar as propriedades desses polímeros biodegradáveis (ARANTZAZU VALDÉS, 2014).

### **2.3 Resíduos Orgânicos**

Os materiais de origem biológica, principalmente os vegetais descartados no meio ambiente são ditos resíduos orgânicos. São materiais que se degradam facilmente quando são descartados adequadamente. Quando esses resíduos são descartados sem os devidos cuidados com o meio ambiente podem se tornar um problema ambiental. Com isso se fazem necessários planos para gestão desses resíduos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, [s.d]).

Segundo Bueno, existem diversos conceitos sobre perdas e desperdícios de alimentos e resíduos de alimentos propostos por muitos autores e organizações, porém, a definição mais utilizada é a apresentada pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), que diz

“Resíduos de alimentos são materiais comestíveis saudáveis destinados ao consumo humano que são descartados, perdidos, degradados ou consumidos por pragas em qualquer ponto da cadeia alimentar. (...) Material comestível que é destinado à alimentação humana ou os subprodutos do processamento de alimentos desviados da cadeia também devem ser caracterizados como resíduos alimentares” (BUENO, 2019).

A indústria de alimentos e as empresas produtoras de materiais para embalagens estão sujeitas à pressão de diferentes partes interessadas na cadeia de produção e distribuição. Produtores, varejistas e clientes têm prioridades diferentes, e a embalagem nem sempre é vista como agregadora de valor ao produto. Mas a indústria de alimentos visa embalagens com desperdício reduzido em toda a cadeia de suprimentos, de acordo com as Leis nº 12.305/2010 de redução de resíduos sólidos e o PL nº 675/2015 de combate aos desperdícios de alimentos. Esta é a principal razão para pensar no uso de resíduos/subprodutos agrícolas e de processamento de alimentos na indústria de embalagens, enquanto muitas instituições de pesquisa concentraram sua estratégia em duas questões: redução da poluição ambiental pela indústria de embalagens e recuperação de subprodutos para utilizá-los na preparação de materiais biodegradáveis (ARANTZAZU VALDÉS, 2014; BRASIL, 2010)

As perdas e desperdícios de alimentos ocorrem em todas as etapas da cadeia produtiva, sendo que em escala mundial, os resíduos provenientes de frutas e hortaliças podem alcançar 45% do total. Desses, 33% dos alimentos descartados como resíduo alimentar seriam quantidade suficiente para alimentar aproximadamente as 821 milhões de pessoas que se encontram subalimentadas. O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de alimentos, dos quais 26 milhões são perdidos e descartados, apesar de estarem aptos para consumo, sendo eles ricos em nutrientes e podendo suprir as necessidades diárias de ingestão (BUENO, 2019). Diante desse cenário, surge o reaproveitamento de cascas de frutas e/ou legumes.

### **2.3.1 Reaproveitamentos de cascas**

A indústria de alimentos produz grandes volumes de resíduos sólidos e líquidos, resultantes da produção, preparação e consumo de alimentos. Esses resíduos (resultado de uma disposição crescente) representam poluição potencialmente grave, perda de biomassa e de nutrientes valiosos. Eles costumavam ser descartados ou usados sem tratamento para ração animal ou como fertilizantes. Devido à crescente necessidade de evitar a poluição do meio ambiente, por motivos econômicos, e pela necessidade de economizar energia e novos materiais, novos métodos e políticas para o manuseio de resíduos e tratamentos foram introduzidos na recuperação, bioconversão e utilização de constituintes desses resíduos. Os resíduos de processamento de alimentos podem ter potencial para conversão em produtos úteis e de valor agregado, ou mesmo poderiam ser usados como matéria-prima para outras indústrias (LAUFENBERG, KUNZ e NYSTROEM, 2003).

Diante disto, existe uma preocupação mundial no aproveitamento dos resíduos industriais, que são definidos como parte da matéria-prima não utilizada ou rejeitada no processamento do produto principal. Entre as principais industriais com alto potencial de geração de resíduos, destacam-se as industriais de sucos e polpas de frutos, onde o bagaço, as cascas e as sementes obtidos como resíduos de extração de sucos e polpas são descartados (ARANHA, 2011).

O desperdício, o descarte inadequado dos insumos e as perdas no processo de produção até a chegada do produto para o consumo variam de 20% a 30% das colheitas de grãos, frutas e de hortaliças no Brasil. Além do desperdício e da poluição do solo com a geração de resíduos, existe também a perda do valor investido em todo o processo. A valorização de subprodutos agropecuários e sua transformação podem diminuir o desperdício e o problema ambiental (ROSA, SOUZA FILHO, *et al.*). A figura 10 mostra a transformação e o grande potencial de valorização desses resíduos agroindustriais. A importância de se aprofundar os estudos relacionados aos resíduos industriais como fonte de substâncias bioativas está relacionada a valorização destas matérias-primas e de seus resíduos para obtenção de novos produtos de alto valor agregado. (ARANHA, 2011)

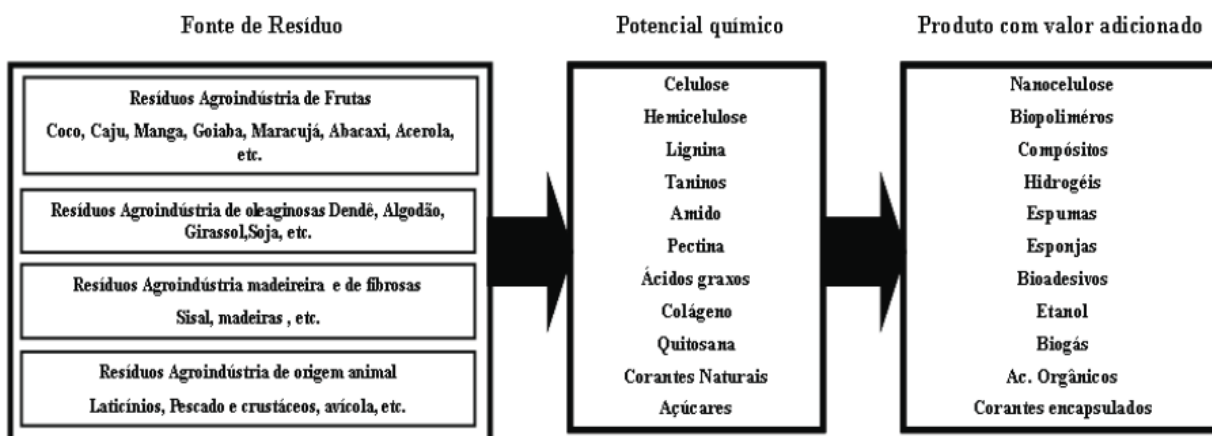


Figura 10 - Potencial de valorização de resíduos agroindustriais de origem vegetal e animal. Fonte: (ROSA, SOUZA FILHO, *et al.*).

## 2.4 Reaproveitamento de Casca de Alimento em Embalagem

O reaproveitamento de resíduos agrícolas vem mostrando bons resultados para a elaboração de biofilmes feitos com base de amido ou a base de proteínas. Os resultados mostram que houve uma eficácia na barreira aos gases ( $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$ ) nos filmes a base de amido ou a base de proteína. Apesar disso, é preciso melhorar outras propriedades do filme, como seu caráter hidrofílico, para que tenha uma aplicação mais eficiente em embalagens de alimentos. A combinação de outros polímeros e/ou adição de materiais naturais pode ser eficaz para aprimoramento das propriedades (ROCHA, FARIAS, *et al.*, 2014).

O aprimoramento e desenvolvimento de filme para embalagem biodegradável é uma das melhores opções para o uso eficaz de coproduto da indústria alimentícia. As cascas e sementes de abóbora foram empregadas com sucesso para desenvolvimento de

filmes biodegradáveis. As soluções formadoras de filme foram tratadas com ultrassom por 45 min a 200 W, glicerol e lecitina de soja foram adicionados e, em seguida, os filmes foram moldados. Entre cinco filmes desenvolvidos usando diferentes proporções de sementes e casca, o filme desenvolvido usando proporção igual de sementes e cascas de abóbora tiveram maior resistência à tração e porcentagem de alongamento. No entanto, um modelo comercial mais econômico e sustentável precisa ser desenvolvido para tais filmes, a fim de torná-los competitivos com os filmes de polímeros sintéticos no que diz respeito às propriedades mecânicas e de barreira. Esses filmes poderiam ser usados para aplicação em produtos alimentícios como embalagens para pão, bolo e doces etc. (LALNUNTHARIA, DEVIA, *et al.*, 2019).

O filme ativo de quitosana incorporado com extrato chá verde apresentou efeito das concentrações de chá verde na solução formadora de filme, onde as propriedades do filme foram determinadas medindo-se as propriedades físicas, o conteúdo polifenólico total e a atividade antioxidante dos filmes ativos. Os resultados sugeriram que a incorporação de extrato de chá verde em filmes de quitosana melhorou as propriedades mecânicas e de barreira ao vapor de água, e aumentou o conteúdo polifenólico e a atividade antioxidante dos filmes. Este estudo mostrou os benefícios da incorporação de extrato de chá verde em filmes de quitosana e o potencial de utilização dos filmes como embalagem ativa biodegradável, já que a quitosana é um biopolímero (SIRIPATRAWAN e HARTE, 2010).

Em outro estudo foi feita a incorporação do extrato de casca de manga em gelatina de peixe produziu um filme estruturado espesso, denso e contínuo. A adição de extrato de casca de manga em filmes de gelatina em concentrações de 1 a 5% resultou em excelente atividade de eliminação de radicais livres em comparação com o filme controle. Maior quantidade de extrato de casca de manga adicionado aos filmes de gelatina foi capaz de diminuir a solubilidade dos filmes e contribuiu para a melhoria da resistência do filme em comparação com o filme controle (A. NOR ADILAH, 2018).

#### **2.4.1 Reaproveitamento da casca de cenoura**

A cenoura pertence ao grupo de raízes tuberosas, rica em compostos bioativos como carotenóides, contendo também fibras. A fibra nas raízes da cenoura consiste em 71,7; 13 e 15,2% de celulose, hemicelulose e lignina, respectivamente. O  $\alpha$  e  $\beta$  caroteno são bastante utilizados na indústria farmacêutica e alimentícia. Os carotenóides são utilizados também como pigmentos naturais, sendo responsáveis pela colocação que vai do amarelo ao vermelho. É uma raiz bastante popular e mundialmente cultivada (SHARMA, KARKI, *et al.*, 2012; SOUSA, 2008). Originária da Ásia Central, é da espécie *Daucus carota*. No Brasil, a cenoura é a quinta hortaliça mais cultivada, com produção de 30t por hectare ao ano, onde o mercado interno consome 80% da produção (AGRISTAR, [s.d]; HORTIBRASIL, [s.d]). Os valores nutricionais da cenoura são praticamente idênticos tanto na polpa quanto na casca. As polpas e cascas de cenoura submetidas ao cozimento a vapor mostraram que a casca de cenoura manteve os valores de proteínas elevados. Nas cascas de cenoura, os minerais se mantiveram mais elevados do que na polpa (PIGOLI, VIEITES e DAIUTO, 2014).

Devido ao grande valor nutricional atribuído a cenoura, existe grande procura das industriais alimentícias, como por exemplo as industriais de sucos. Estudos mostraram que durante o processamento de suco, 30-50% da cenoura viram bagaço. Esses 50% de matéria-prima que permanece como bagaço é descartado como ração ou esterco. O bagaço de cenoura contém 17 e 31-35% do total  $\alpha$ - e  $\beta$ -carotenos, além de conter fibras. Conseqüentemente, o subproduto da cenoura após a extração de suco representa fontes promissoras de compostos com propriedades bioativas que poderiam ser exploradas. (SHARMA, KARKI, *et al.*, 2012). Ainda de acordo com os autores, a utilização do subproduto da cenoura para desenvolvimento de produtos de valor agregado, reduziria o problema de descarte e potenciais problemas graves de poluição.

Ocorre também grandes descarte e desperdícios desse vegetal entre o cultivo e o consumo final. Dentre os desperdícios tem-se: o vegetal não visualmente atrativo (deformação, rachaduras, injúria por pragas ou doenças), até perdas no processo de produção nas agroindústrias, e perda no transporte inadequado (ZARO, 2018). Visando o reaproveitamento, produção limpa e buscando a sustentabilidade considera-se a casca de cenoura com propriedades adequadas para o reaproveitamento em confecção de embalagens biodegradáveis. Pode ser adicionada como carga/enchimento para melhoramento das propriedades da embalagem (WANG, SUN, *et al.*, 2011).

Estudos feitos para o desenvolvimento de filmes comestíveis a partir do purê de cenoura com carboximetilcelulose (CMC), amido de milho, gelatina e glicerol (adicionado como plastificante), mostraram resultados promissores. A preparação de todos os filmes foi realizada através de o seguinte processo. Em primeiro lugar, o amido de milho foi preparado por aquecer soluções aquosas a 72°C e manter a temperatura por 30 min em banho-maria em constante agitação, para realizar uma gelatinização completa do amido. Então, CMC e gelatina foram adicionados às soluções. As soluções foram resfriadas à temperatura ambiente e purê de cenoura (30%, p / p) foi adicionado às soluções seguido pela incorporação de glicerol, e manteve as reações de plastificação (50°C) por 20 min. A soluções foram homogeneizadas por 3 min a 13.000 rpm. Em seguida, 120 ml da solução foi derramado em um quadrado nivelado, polietileno de alta densidade (HDPE) (180 mm  $\times$  180 mm). A placa foi colocada em um forno a 60°C por cerca de 6 h. Os filmes secos foram descascados intactos da superfície de fundição. Todas as amostras de filme foram mantidas em um dessecador por 2 dias antes do teste. Foram feitas as medidas de espessura através do micrômetro digital, teste permeabilidade ao vapor de água (WVP), permeabilidade ao oxigênio, as propriedades mecânicas foram analisadas através do teste Máquina de Teste Eletrônico Universal. Os testes mostraram que a resistência do filme de purê de cenoura aumentou com o aumento do conteúdo de CMC, amido de milho e gelatina, enquanto a flexibilidade do filme aumentou com o aumento do teor de glicerol. O aumento do conteúdo de glicerol aumentou a permeabilidade ao oxigênio e permeabilidade ao vapor de água do filme, mas a barreira ao oxigênio não foi significativamente modificada. Além disso, os filmes de purê de cenoura apresentaram permeabilidade ao vapor de água intermediário em comparação com outros filmes comestíveis. Os valores de alongamento dos filmes de cenoura aumentaram com o aumento do glicerol e diminuíram com o aumento do amido de milho. Esses resultados sugerem que os filmes de purê de cenoura podem ser adequados como embalagens comestíveis para alguns alimentos ou aplicados como embalagem em

produtos alimentícios para fornecer nutrição e uso conveniente para os consumidores, reduzindo o desperdício de embalagens de alimentos (WANG, SUN, *et al.*, 2011).

Um outro estudo, mostrou que a utilização de resíduos de cenoura, juntamente com resíduos de fabricação capsulas gelatinosa de óleo de linhaça, obteve bons resultados. Os filmes foram feitos pelo método casting, os subprodutos da cenoura foram devidamente higienizados, centrifugados e posteriormente colocados na estufa para a secagem. Logo em seguida foi utilizado o moinho de facas e o peneiramento para a obtenção de granulometria de 115 mesh, com o valor de fibras em aproximadamente 75% de fibras em matéria seca. Ainda de acordo com o autor, os filmes foram caracterizados, para investigação da solubilidade em água, teor de umidade e determinação da permeabilidade ao vapor de água (PVA). Foi confeccionado o filme de controle (CON), utilizando a gelatina sem as fibras de cenoura e filmes gelatinosos com fibras de cenoura (FIB), para efeito de comparação. Os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela 3. Os resultados indicaram que os filmes com as fibras de cenoura proporcionaram redução de umidade dos filmes. Já em relação a solubilidade os filmes de controle obtiveram um valor maior, isso pode ser uma vantagem para os filmes feitos com fibra de cenoura, visto que estes podem ter mais resistência a solubilidade. Os filmes com fibras de cenoura também mostraram bons resultados a permeabilidade ao vapor de água de embalagem, visto que quanto menor o PVA, menor é a transferência de umidade entre o alimento e o meio que o cerca (IAHNKE, SILVEIRA, *et al.*, 2015).

**Tabela 3:** Conteúdo de umidade, solubilidade em água e permeabilidade ao vapor de água dos filmes de resíduos de gelatina e de cenoura.

<b>Filme</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Solubilidade em água (%)</b>	<b>PVA (g.mm/m<sup>2</sup>.h.KPa)</b>
<b>CON</b>	24,64 ± 0,74 <sup>a</sup>	44,54 ± 2,91 <sup>a</sup>	0,566 ± 0,047 <sup>a</sup>
<b>FIB</b>	20,51 ± 0,07 <sup>b</sup>	31,64 ± 0,96 <sup>b</sup>	0,460 ± 0,005 <sup>b</sup>

Os dados apresentados são os valores médios ± desvios padrão. Valores na mesma coluna com letras subscritas diferentes são significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ). Fonte Adaptado de: (IAHNKE, SILVEIRA, *et al.*, 2015)

Ainda falando sobre estudos feitos com reaproveitamento de agro-resíduos de cenoura e outros vegetais. Em sua dissertação, Maria Macedo pesquisou a extração de celulose da casca de abobora, rama de cenoura e salsa e caule da couve para a produção de biopolímero. Ao longo do experimento, foi utilizado o PLA como enxerto na celulose extraído dos agro-resíduos para a produção de bioplástico. Inicialmente os agro-resíduos foram colocados na estufa por dois dias para secagem, posteriormente foram colocados no moinho para transformação de um pó com dimensões de 0,5mm. Foram pesados 500 mg de cada agro-resíduos e feita a dissolução em ácido trifluoacético (TFA), sob agitação durante 15 dias. Para a remoção de qualquer resíduo insolúvel, foi feita a centrifugação por 15 minutos, por fim as soluções foram colocadas em placa de petri para obtenção dos biopolímeros. O mesmo procedimento foi feito dessa vez utilizando líquido iônico 1-butil-3-metilimidazólio cloreto [(BMIM)Cl] para dissolução dos agro-resíduos. Analisando o rendimento da extração de celulose, foi constatado que a rama de cenoura e salsa tiveram resultados melhores. Diante desses resultados a pesquisa deu seguimento utilizando apenas os biopolímeros da rama de salsa e cenoura. Foram feitas análises de FTIR, Raman, MEV, Análise termogravimétrica, Análise elementar e teste de

degradabilidade. Os resultados evidenciaram uma estrutura fibrosa, característica da celulose, a rama de salsa apresentou maior estabilidade térmica, a análise de degradabilidade mostrou que biopolímero da rama de cenoura teve uma degradação mais elevada (MACEDO, 2015).



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Inclui-se nesta seção os materiais e equipamentos utilizados, assim como os procedimentos abordados para a preparação das amostras de PLA, os métodos de caracterização e ensaios realizados. Um breve resumo das etapas realizadas na presente Dissertação está esquematizado na Figura 11.



**Figura 11:** Fluxograma das atividades realizadas.

#### 3.1. Materiais

Para o preparo das amostras foram utilizados os seguintes materiais:

- Políácido láctico – PLA (3dlab®)
- Diclorometano - ER do Brasil
- Cascas de Cenoura – obtidas no município de Seropédica, comércio local.
- Higienizador de verduras e legumes – Clor In

Para os ensaios de degradação das amostras foram utilizados os seguintes materiais:

- Água filtrada
- Terra adubada (GRILO'S MINHOCÁRIO)
- Bicarbonato (C2 ALIMENTOS)
- Vinagre (PEIXE)

Equipamentos utilizados para preparo e caracterização das amostras:

- Balança Digital Smart Scale;
- Estufa de Secagem - (NOVAINSTRUMENTS);
- Triturador – (BRITÂNIA 900W);
- Peneira de 40 mesh;
- Agitador magnético – (CORNING STIRRER);
- pHmetro e Termômetro - (SATRA PHS-3E);
- Analisador de textura - (TA.XT. plus Texture Analyzer, Stable Micro Systems);

- MEV – (TM3030PLUS HITACHI);
- FTIR – (Vertex 70)

## 3.2. Métodos

### 3.2.1. Preparo das amostras

Inicialmente foram preparadas as cascas de cenouras, todas foram lavadas e alocadas em 1 litro de água com 20 gotas de higienizador à base de cloro por 15 minutos. Em seguida, foram pré-secadas, Figura 12, e posteriormente colocadas em estufa (50°C) por 5 horas para a secagem total das cascas, sendo finalmente feita a trituração, Figura 13. As amostras 0, 5, 10, 15 e 25 m/m % de casca de cenoura em PLA foram preparadas por casting. A figura 14, mostra o preparo das amostras que consistiu em misturar PLA e casca de cenoura em 36ml de diclorometano sob agitação magnética, conforme a Tabela 3. Após completa dissolução do PLA, as misturas foram vertidas em placas de petri ( $\phi 90\text{mm}$ ), Figura 15, e mantidas estáticas por 48 horas para completa evaporação do diclorometano.

**Tabela 4:** Formulação das amostras.

Amostra	PLA (g)	CENOURA (g)
PLA	2,500	0
PLA-5	2,375	0,125
PLA-10	2,250	0,250
PLA-15	2,125	0,375
PLA-25	1,875	0,625



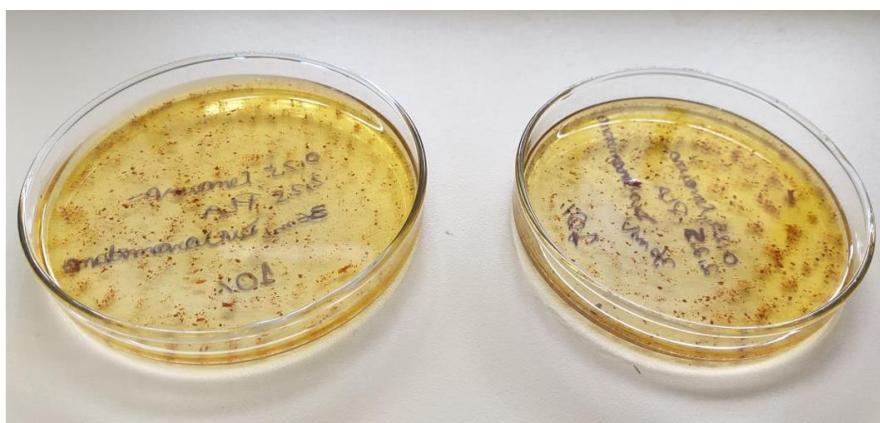
**Figura 12:** Cascas da cenoura higienizadas.



**Figura 13:** Casca de cenoura triturada.



**Figura 14:** Diluição das cascas de cenoura e PLA em diclorometano, sob agitação magnética.



**Figura 15:** Misturas vertidas em placa de petri após completa dissolução do PLA.

### 3.2.2. Ensaio Mecânico

As propriedades mecânicas das amostras PLA/cenoura foram medidas por ensaio de textura (SONTAYA LIMMATVAPIRAT, 2008). Foi utilizado o analisador de textura (TA.XT. plus Texture Analyzer, Stable Micro Systems, Reino Unido), sonda esférica de

5 mm, Figura 16. As amostras foram colocadas em um suporte com um furo cilíndrico ( $\phi 1$  cm). A sonda operou com velocidade de 1 mm/s e as curvas de força-deslocamento foram registradas. O ensaio foi feito em triplicata nas 5 composições.



**Figura 16:** Ensaio de textura das amostras.

### 3.3.4. Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

A análise através do MEV possibilita determinar a composição química e estrutura atômica, a caracterização da morfologia das amostras. A análise de microscopia eletrônica de varredura, possibilita investigar a superfície das amostras, com imagem nítidas e tridimensionais, além de permitir uma análise topológica (FINOCCHIO e MIAGUSUKU, [s.d]). Para analisar a morfologia e fratura das amostras de PLA/Cenoura foi utilizada a microscopia eletrônica de varredura. As amostras foram metalizadas (foi utilizada prata, atomizador LEICA EM ACE200) e avaliadas em microscópio eletrônico TM3030Plus Hitachi (CETEM/UFRJ), operando sob vácuo e a 15kV. Superfície de fratura através de ruptura em Atmosfera de  $N_2$ .

### 3.3.5. Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier – FTIR

A análise FTIR pode-se identificar as ligações químicas numa molécula por meio da produção de um espectro de infravermelho. É um instrumento analítico eficiente, onde as amostras são colocadas no espectrômetro e a fonte de luz passa em diferentes comprimentos de onda através da amostra. Em seguida são detectados e caracterizados os grupos funcionais e ligações covalentes existentes (MACEDO, 2015). A interação entre componentes das amostras foi analisada em equipamento Vertex 70, Laboratório de Química Orgânica / Departamento de Química / UFRRJ, modo ATR, na faixa entre  $400\text{ cm}^{-1}$  e  $4000\text{ cm}^{-1}$ , 16 scans por amostra.

### 3.3.6. Teste de Degradação

Para os testes de degradação foi seguido o modelo de Shanshan, com algumas adaptações (LV, ZHANG, *et al.*, 2018). Os testes de degradação foram realizados em 4 meios diferentes. Para todos os meios foram cortadas 3 amostras de cada composição com

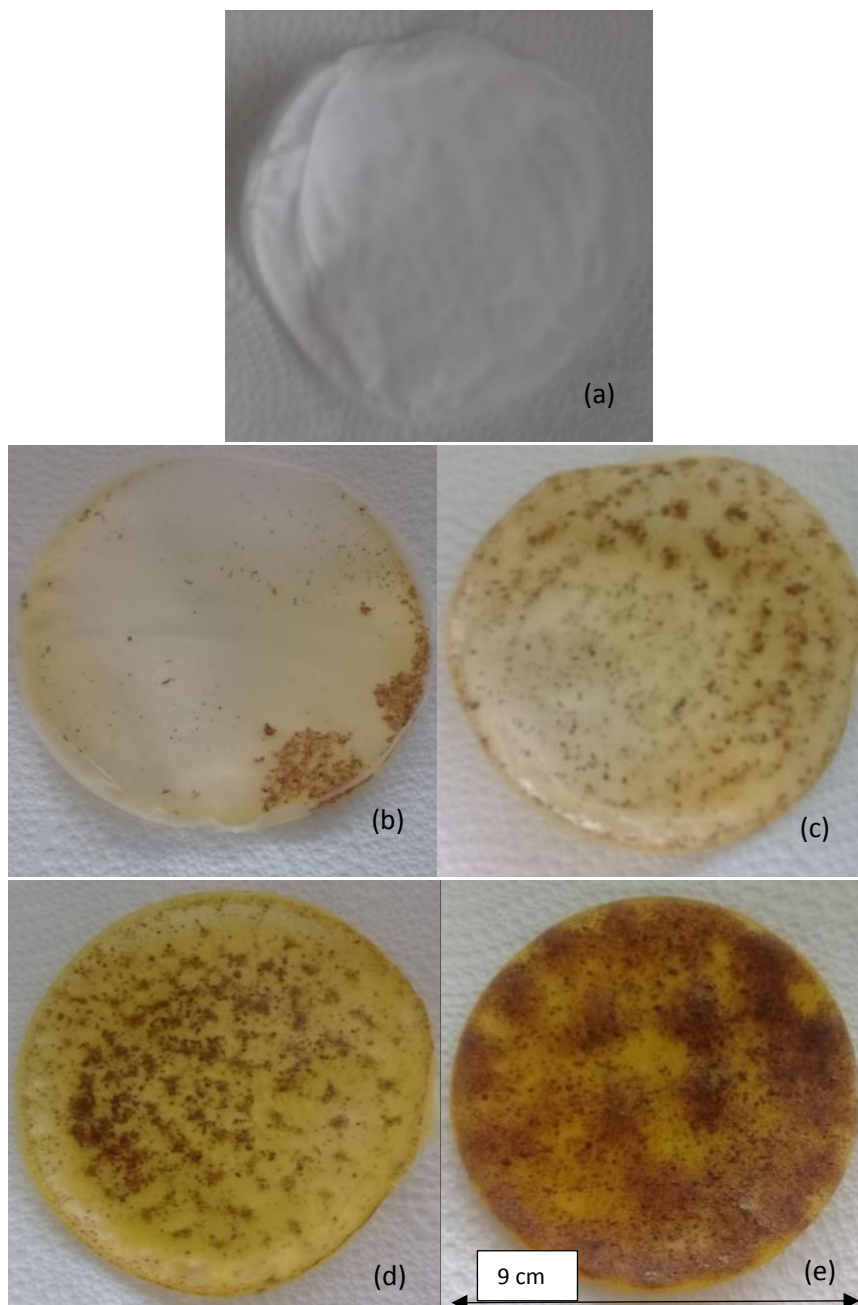
variação de massa entre 0,14 a 0,18 g. No teste de degradação em solo, as amostras foram colocadas em terra adubada, sendo colocadas a aproximadamente 1,5 cm de profundidade. Uma vez por semana as amostras foram regadas com 5 ml de água filtrada. Também uma vez por semana as amostras eram retiradas, pesadas e recondicionadas em solo.

O teste de degradação na água, as amostras foram submersas em 25 ml de água filtrada. A cada 7 dias o peso das amostras era registrado, bem como era realizada a troca do meio com as devidas verificações do pH e temperatura. No teste de degradação em meio ácido, em um recipiente com água foi adicionado vinagre até que se obtivesse pH entre 3 e 4. Para o teste em meio básico, foi adicionado bicarbonato de potássio em um recipiente com água até que o pH atingisse entre 9 e 10. A cada 7 dias eram aferidos massa das amostras e o pH do meio.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Aspecto macroscópico das amostras

O aspecto visual das amostras de PLA, PLA-5, PLA-10, PLA-15, PLA-25 pode ser observado na Figura 12. A amostra PLA puro apresenta aspecto homogêneo e transparência, Figura 12-a, sem a presença de partículas insolúveis. Apresenta aparente rugosidade e maleabilidade ao toque. Não há rupturas ou presença de rachaduras.



**Figura 17** - Aspecto visual das amostras: (a) PLA, (b) PLA-5, (c) PLA-10, (d) PLA-15, (e) PLA-25.

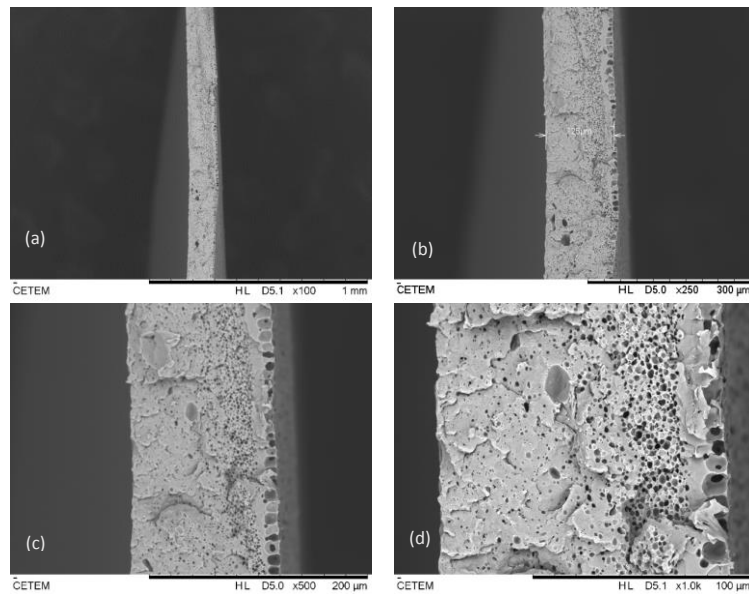
Fonte: Autoria própria (2019).

A amostra PLA-5 (5% casca de cenoura) apresenta coloração amarelo-claro, com a presença de partículas visíveis a olho nu. Não há rupturas ou presença de rachaduras. Apresenta menor rugosidade ao toque (se comparada à amostra PLA) e maleabilidade. As amostras PLA-10 e PLA-15 (10% e 15% de casca de cenoura, respectivamente) também apresentam coloração amarela, com presença de partículas visíveis. Apresentam leve rugosidade o toque, com flexibilidade menor que as amostras anteriores. A amostra PLA-25, 25% de casca de cenoura, apresenta coloração amarelo-escuro, com a presença de partículas em toda extensão da amostra. Apresenta rugosidade, entretanto apresenta a menor flexibilidade dentre todas as amostras. Essa aparente diminuição da flexibilidade pode ser devido a maior concentração utilizada partículas de cenoura.

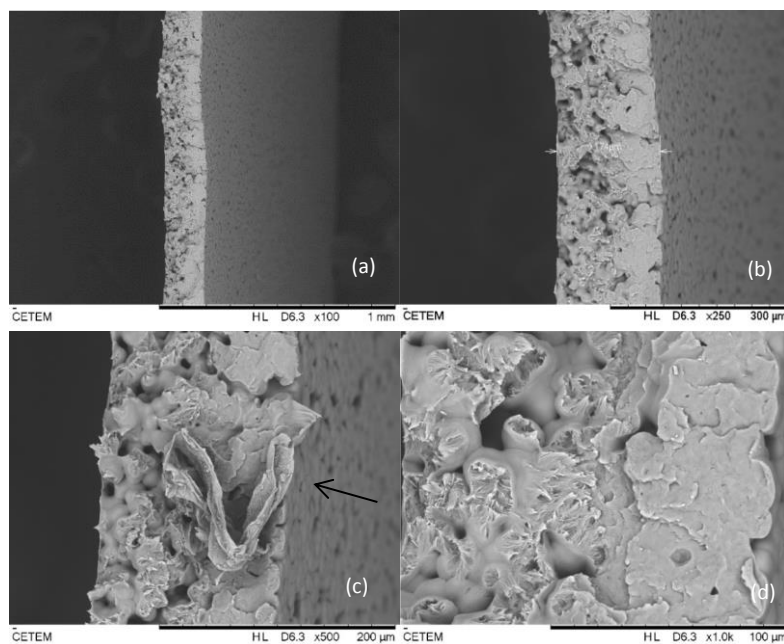
A aparente rugosidade das amostras aumentou devido ao aumento do percentual de carga/cenoura, principalmente pelo aumento da aglomeração de partículas (SWAROOP e SHUKLA, 2018) De acordo com Niua *et al*, a desvantagem para PLA usado como um plástico é sua baixa flexibilidade ao suportar a carga, além de baixa estabilidade térmica. A incorporação de reforços é uma das rotas mais viáveis para melhorar as propriedades mecânicas, de barreira e físicas do PLA (NIUA, LIUA, *et al.*, 2018). A segregação das partículas de cenoura poderia ter sido menor com a utilização do moinho para diminuição das partículas. Assim com a utilização de agitação por mais tempo e a centrifugação para a remoção de resíduos insolúveis, esse método foi utilizado por Macedo em sua pesquisa. Foi possível perceber uma conformidade na amostra (MACEDO, 2015).

#### **4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura**

A superfície das amostras foi analisada por microscopia eletrônica de varredura. A figura 13 mostra a superfície do PLA puro. Nas imagens é possível perceber a porosidade na amostra, a presença de vazios. A formação da porosidade pode ser justificada pela evaporação do solvente (diclorometano). De acordo com estudos feitos sobre a formação de filmes microporosos de PLA e blendas de PLA/PBAT solubilizadas em clorofórmio, a velocidade da evaporação do solvente pode contribuir para a nucleação de gotículas na superfície da solução, colaborando para a formação de poros. O diclorometano, com a evaporação superior à do clorofórmio, resultou na formação de poros pequenos (COBO, GUTTUZZO e CARVALHO, 2021).



**Figura 18** - Microscopia da amostra PLA: (a) imagem topográfica com ampliação 100x, (b) 250x, (c) 500x e (d) 1000x.

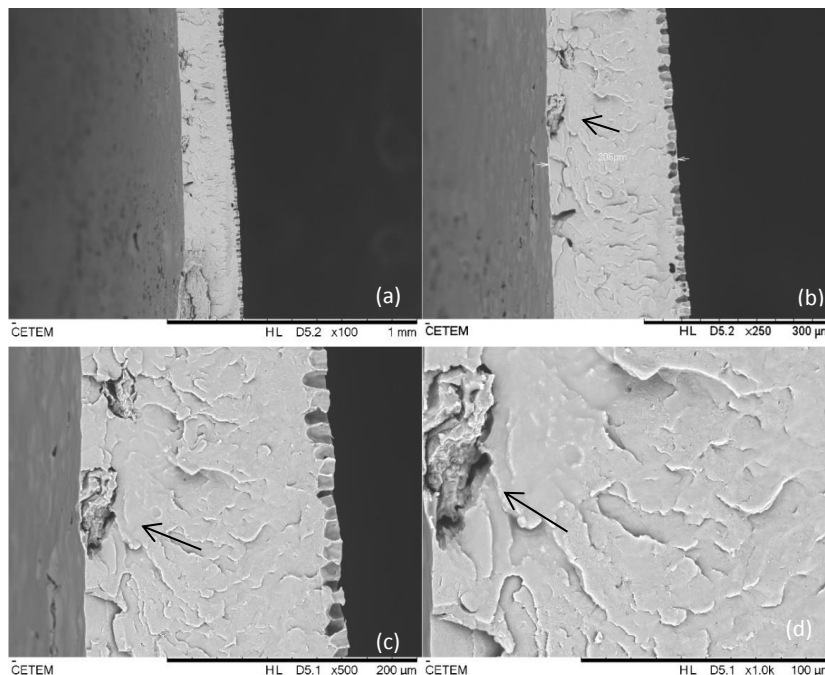


**Figura 19** - Micrografia da amostra PLA-5: (a) imagem topográfica com ampliação 100x, (b) 250x, (c) 500x e (d) 1000x.

Na amostra PLA-5 é possível observar a porosidade e a presença de partículas de casca de cenoura (figura 14). Nota-se que as partículas têm aspecto fibroso. Essa aparência fibrosa nas partículas pode ser justificada pela composição da cenoura rica em fibras,  $\beta$ -caroteno, e vários micronutrientes (SHARMA, KARKI, *et al.*, 2012). Observa-se uma baixa aderência da casca de cenoura à matriz de PLA, onde pode ter ocorrido uma incompatibilidade entre a matriz polimérica e as fibras, já que a interação interfacial em muitos casos pode ser fraca (LEMOS e MARTINS, 2014). O uso de um



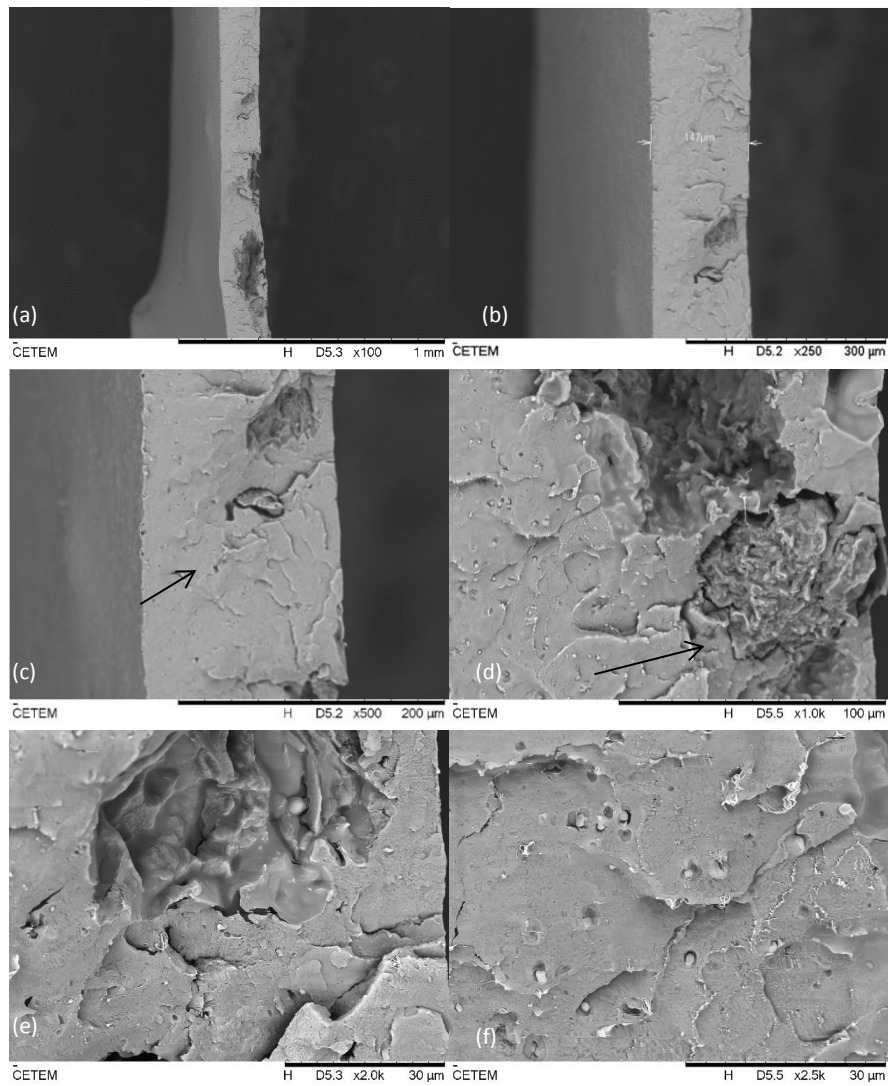
agente de acoplamento para aumentar a compatibilidade entre a matriz e a carga seria adequado.



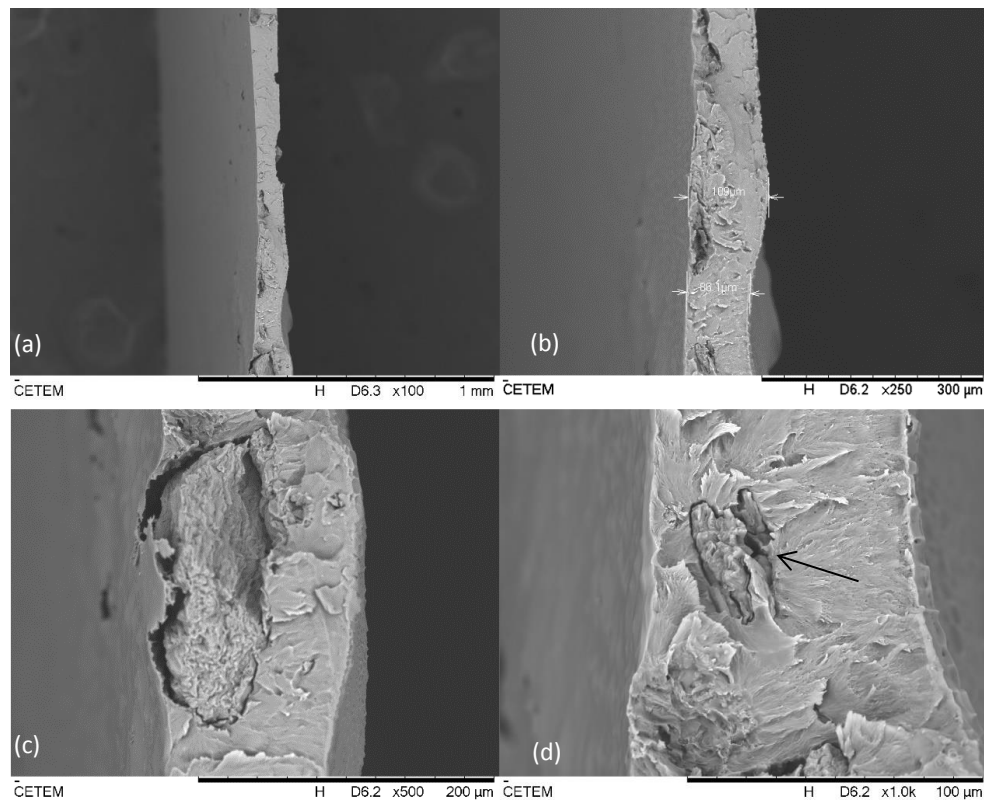
**Figura 20** - Microscopia da amostra PLA-10: (a) imagem topográfica com ampliação 100x, (b) 250x, (c) 500x e (d) 1000x.

Nas imagens da amostra PLA-10 (figura 15) é possível perceber uma diminuição da porosidade e a presença de partículas de tamanhos diferentes, além de aspecto fibroso na matriz do PLA. Essa natureza fibrosa dos resíduos de cenoura também foi observada em estudos feitos por Maria Macedo, foi constatado diferentes formas e tamanhos de microfibras (MACEDO, 2015) Ao observar as imagens da amostra PLA-15 (figura 16) com resíduos de cenoura é possível perceber certa homogeneidade e a diminuição da porosidade. Pode ser observada a presença de partículas esféricas e fibrosas dispersas na matriz PLA. Nas imagens da amostra PLA-25 (figura 17) houve diminuição da porosidade e presença de macropartículas na matriz do PLA devido à maior concentração de casca cenoura.

Quanto às espessuras das amostras, houve um aumento da espessura ao adicionar os resíduos de cenoura. Dantas mostram que a espessura dos filmes pode influenciar nas propriedades de barreira. Foi observado pelos autores que a incorporação de polpas de frutas na matriz polimérica pode elevar a espessura dos materiais para embalagens, promovendo o aumento das propriedades de barreiras (DANTAS, COSTA, *et al.*, 2015).



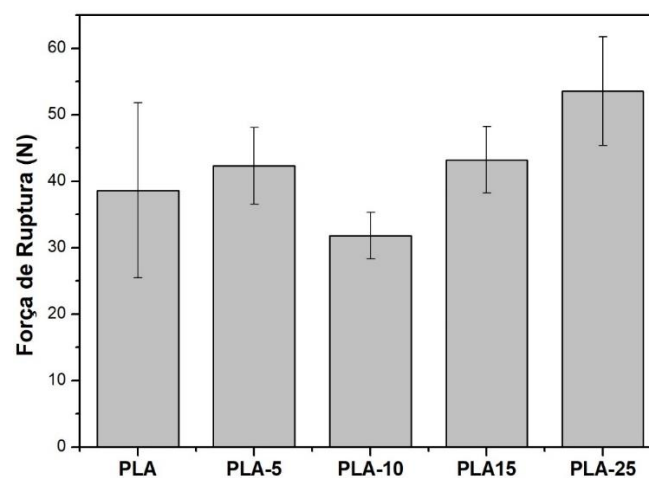
**Figura 21** - Microscopia da amostra PLA-15: (a) imagem topográfica com ampliação 100x, (b) 250x, (c) 500x, (d) 1000x, (e) 2000x e (f) 2500.



**Figura 22** - Microscopia da amostra PLA-25: (a) imagem topográfica com ampliação 100x, (b) 250x, (c) 500x e (d) 1000x.

#### 4.2 Ensaio mecânico

As amostras PLA, PLA-5, PLA-10, PLA-15, PLA-25, figura 18, apresentaram resistência à ruptura entre 29N e 60N. A amostra PLA-25 mostrou a maior resistência entre as amostras. O aumento da resistência pode ser atribuído ao maior volume de pequenas partículas, que contribui para uma maior área interfacial e transferência de tensão entre as cadeias de polímeros e a carga/cenoura (SWAROOP e SHUKLA, 2018).



**Figura 23** - Efeito da composição de cenoura nas propriedades mecânicas do PLA.

Em estudos feitos por Otoni foi analisado as propriedades mecânicas dos filmes de hidroxipropilmetilcelulose e resíduos do processamento mínimo de cenoura (RPMC) em diferentes proporções. Foi constatado que a formação do filme RPMC, não formou camadas contínuas e destacáveis do substrato, com isso os componentes para a formação do filme de RPMC não formou filmes autossuportáveis, o autor sugeriu a adição de um agente ligante (OTONI, 2017).

### 4.3 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier

Os espectros de FTIR das diferentes amostras são mostrados na figura 19. Ao observar a amostra PLA é possível fazer comparação com os estudos feitos por (CHIENG, IBRAHIM, *et al.*, 2014; BITENCOURT, BATISTA, *et al.*, 2017). Observam-se bandas em:  $2997\text{ cm}^{-1}$  e  $1359\text{ cm}^{-1}$ , referente ao estiramento -CH; em torno de  $1755\text{ cm}^{-1}$ , referente ao dobramento C-H; a banda no número de onda  $1181\text{ cm}^{-1}$ , referente ao estiramento simétrico C-O-O; em  $1081\text{ cm}^{-1}$ , referente ao estiramento -C-O; e a banda no número de onda em  $755\text{ cm}^{-1}$ , referente ao estiramento C-H.

O perfil de cada curva de FTIR é similar, indicando que a carga/cenoura tem apenas interação física com a matriz PLA e não formação de ligação primária entre as fases (SWAROOP e SHUKLA, 2018). No espectro da amostra PLA-25 é possível perceber uma banda larga em torno de  $3328\text{ cm}^{-1}$ , que sugere a presença de umidade na amostra (grupos hidroxila), que poderia ser atribuída a presença de cenoura, uma vez que a umidade presente na cenoura varia de 86% a 89% (SHARMA, KARKI, *et al.*, 2012).

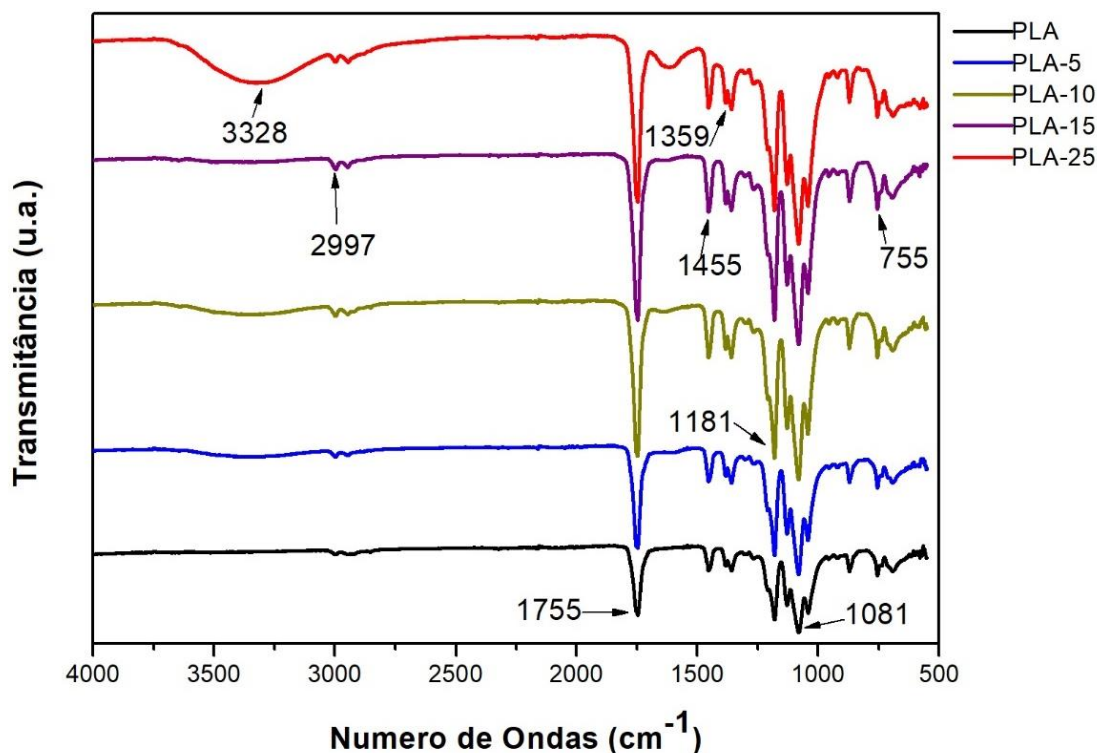
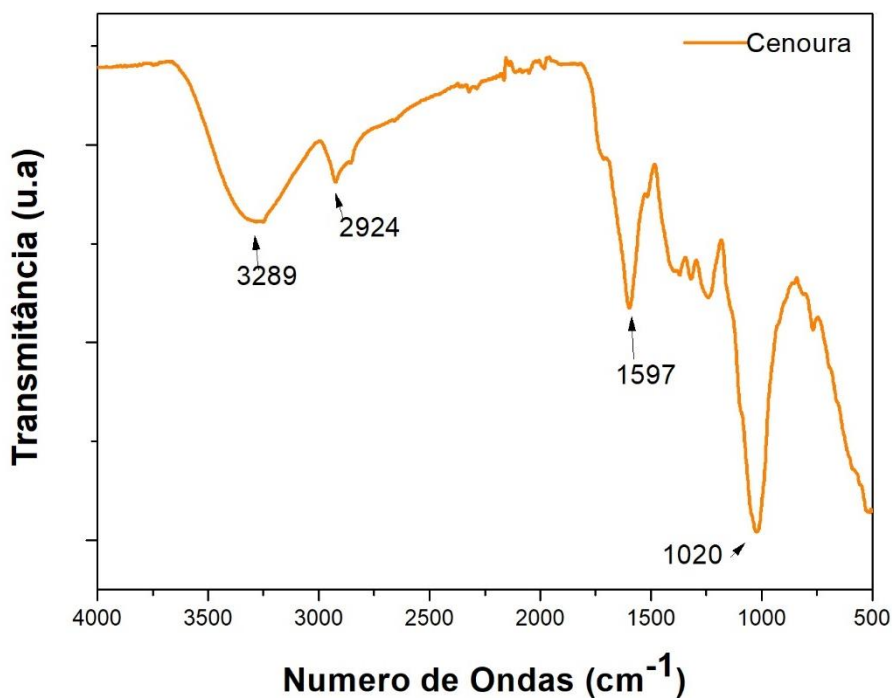


Figura 24 - Espectro de FTIR para as amostras PLA, PLA-5, PLA-10, PLA-15 e PLA-25.

A Figura 25, mostra a análise de FTIR da casca de cenoura pura. Podemos perceber uma banda em  $3289\text{ cm}^{-1}$ , correspondente à ligação hidroxilo (O-H). Comprimento de onda de  $2924\text{ cm}^{-1}$  e  $1597\text{ cm}^{-1}$  estão associadas com o estiramento vibracional dos grupos metilo (C-H) e carbonilo (C=O), respetivamente. Na banda registada a  $1020\text{ cm}^{-1}$  é atribuída ao alongamento do grupo carbonilo (C-O) (MACEDO, 2015). Ainda fazendo uma comparação com estudos feitos pela autora, é possível verificar pontos de semelhança do FTIR obtidos pela extração de celulose da rama de cenoura.



**Figura 25:** Espectro de FTIR da casca de cenoura pura.

Analisando as Figuras 24 e 25, é possível verificar uma diminuição da intensidade do grupo Hidroxilo (O-H), em algumas amostras de PLA/cenoura é possível verificar a ausência de alguns pontos.

#### 4.4 Teste de degradação

As amostras avaliadas em água mantiveram uma faixa de variação de massa comum a todas, Figura 20, mantendo as pesagens em balança com incerteza de 0,01g. No final de 3 meses de ensaio, a maior média de perda de massa se deu para as amostras PLA-15, embora a diferença entre as amostras não fosse considerável. Quando imersos em um meio aquoso, os produtos à base de PLA podem absorver água, quando começa a clivagem autocatalítica das ligações éster. A degradação na superfície se torna mais rápida do que no interior por causa da liberação de oligômeros ácidos solúveis em água e de ácido láctico, enquanto aqueles localizados no interior permanecem imóveis. No final, todo o interior é composto de oligômeros solúveis em água, e uma estrutura oca é formada, por causa da liberação de compostos para o meio, enquanto a degradação da superfície

continua lentamente (ZHANG e N, 2005) A figura 21 ilustra as amostras no tempo zero e cem dias de degradação em meio aquoso.

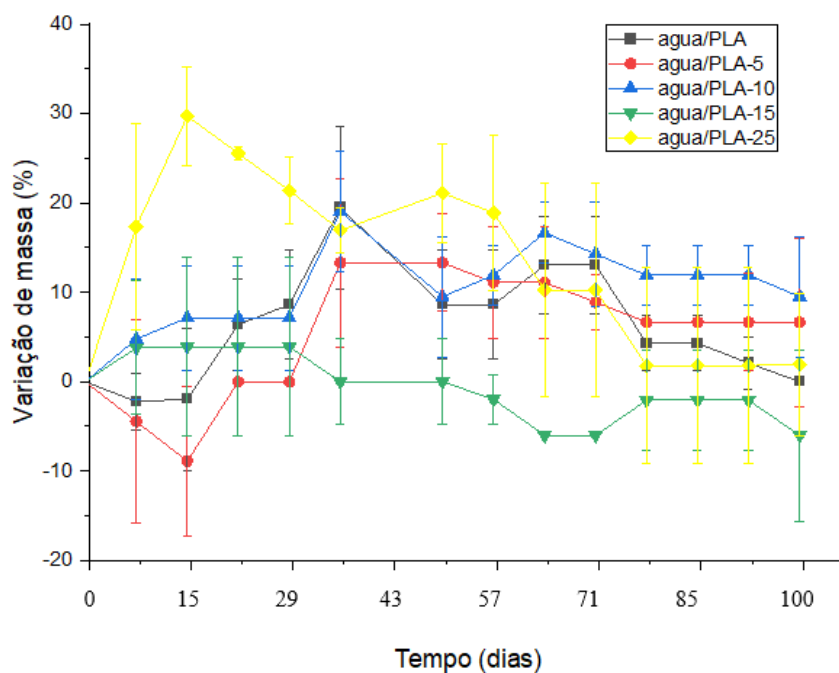


Figura 26 - Comportamento das amostras no teste de degradação na água.

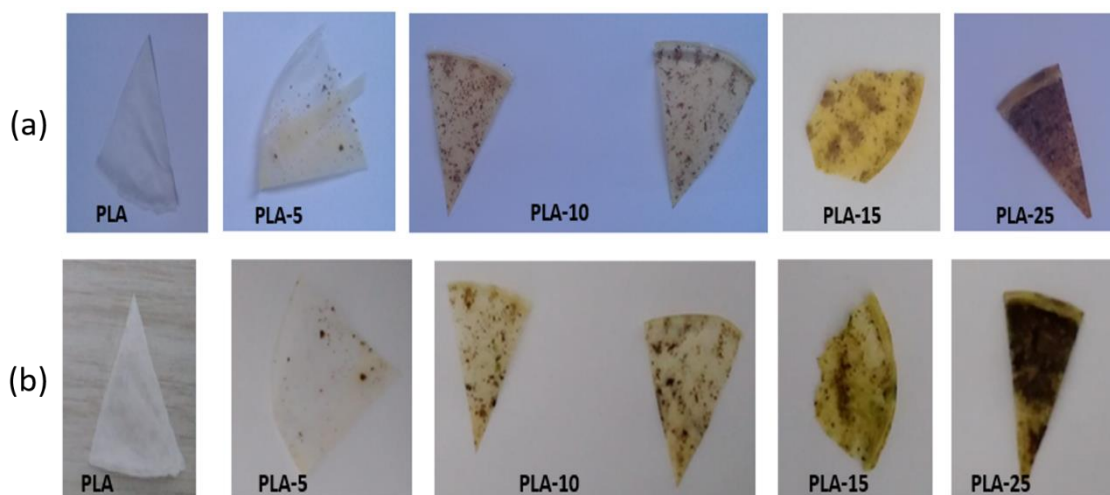
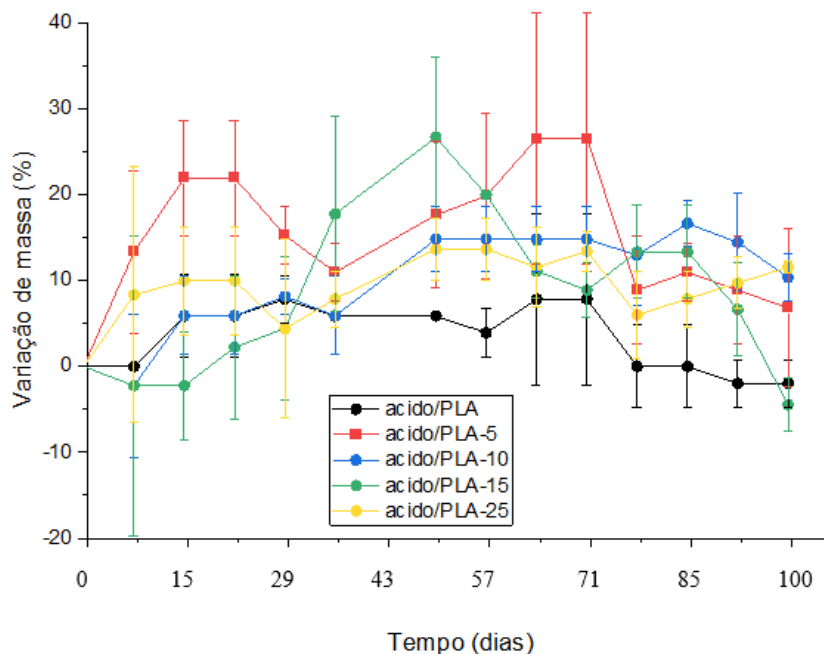


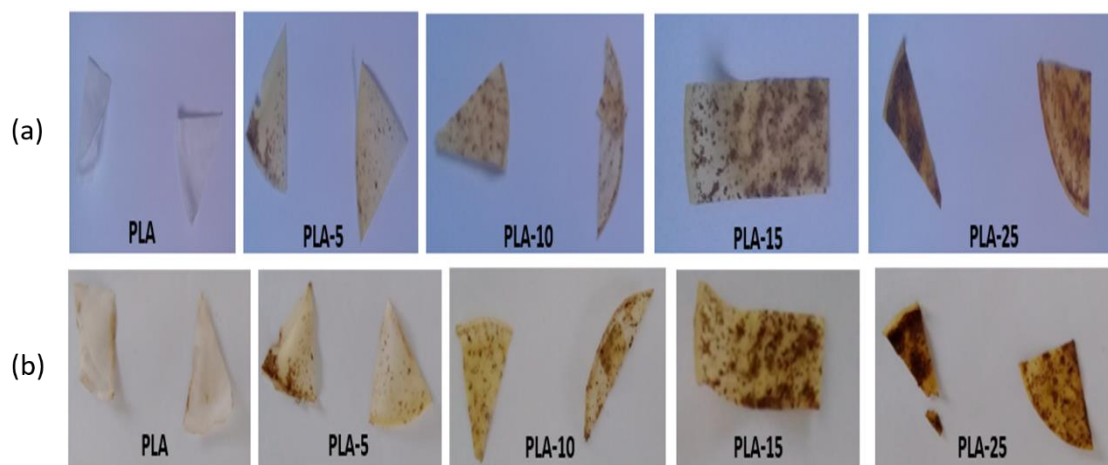
Figura 27 - Amostras (a) 0 dias e (b) 100 dias, meio aquoso.

As amostras em meio ácido apresentaram aparente colonização fúngica durante o ensaio e a variação de massa das amostras seguiu tendência similar, Figura 22. As amostras PLA, PLA-5, PLA-25 em meio ácido apresentaram massas estáveis. As amostras de PLA-10 e PLA-15 apresentaram pequena perda de massa. A hidrólise do poliácido lático em meio ácido pode apresentar perda de massa insignificante, mas esses resultados indicam que os efeitos catalíticos dos íons hidrônio desses ácidos são muito

pequenos, independentemente do tipo de ácido, e a durabilidade dos filmes em meio ácido é muito semelhante àsquelas do meio alcalino (TSUJI e NAKAHARA, 2002) A figura 23 ilustra as amostras no tempo zero e em 100 dias de degradação em meio ácido.



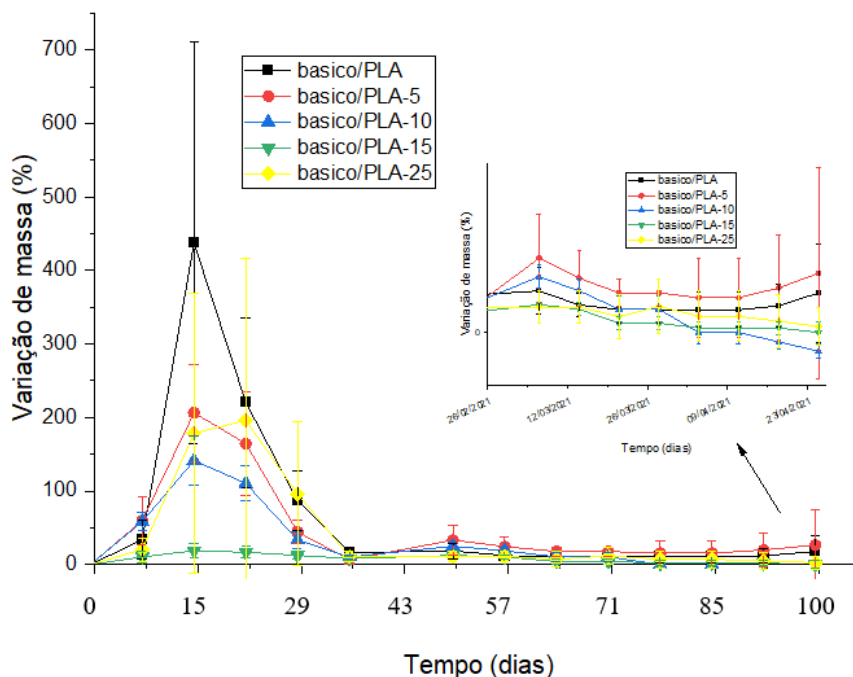
**Figura 28** - Comportamento das amostras no teste de degradação em meio ácido.



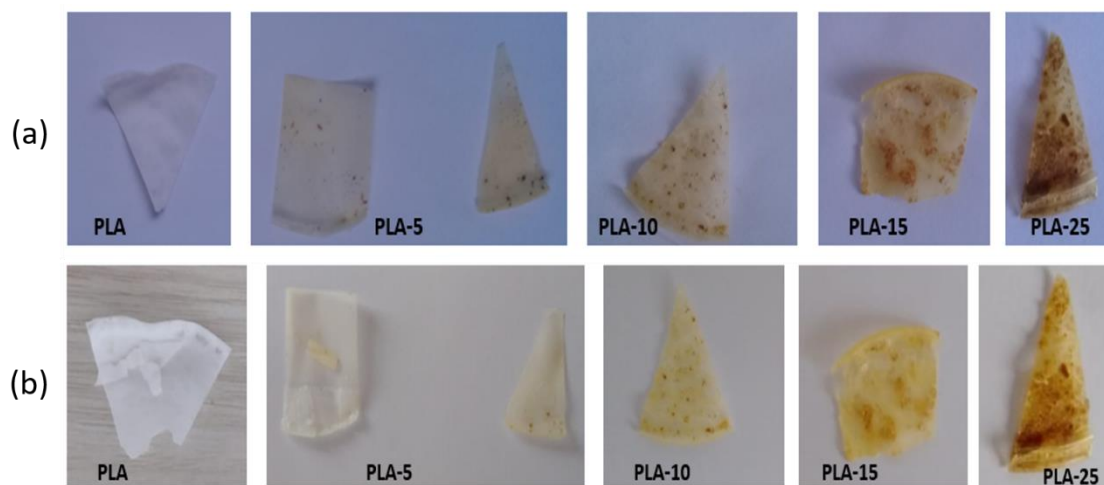
**Figura 29** - Comportamento das amostras no teste de degradação em meio ácido, (a) 0 dias e (b) 100 dias.

Em meio básico as amostras apresentaram aumento de massa (devido a prováveis depósitos de bicarbonato na superfície das amostras), seguido de estabilização, Figura 24. É usual o PLA apresentar alta degradação em meios básicos, pois as espécies no meio conseguem atacar a cadeia principal do PLA, degradando o material (FINNISS, 2014). Entretanto, perfil oposto foi encontrado no presente trabalho, prováveis ações da carga

ou mesmo devido ao meio ácido não apresentar pH superior a 9. A figura 25 ilustra as amostras no tempo zero e em cem dias de degradação em meio básico.



**Figura 30** - Comportamento das amostras no teste de degradação em meio básico.

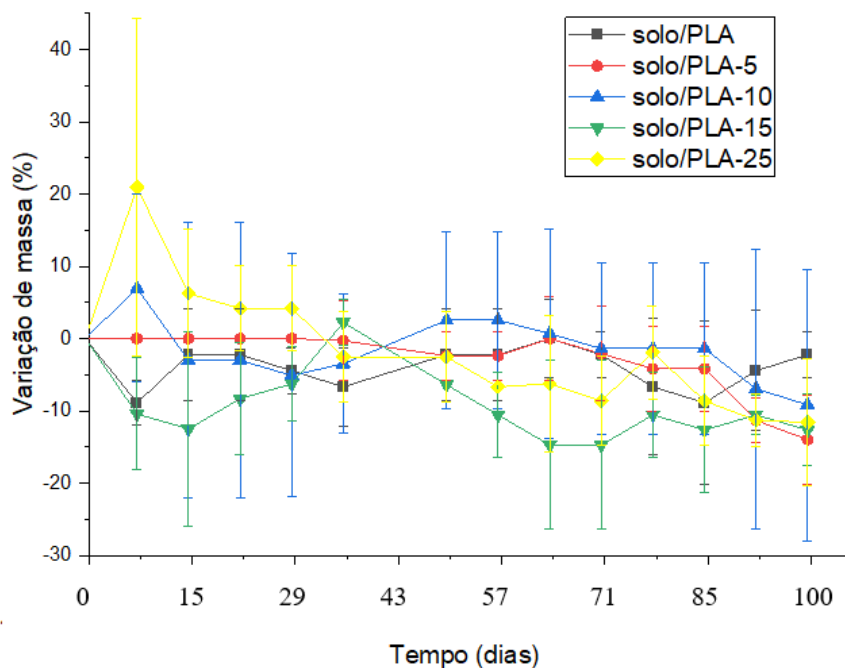


**Figura 31** - Amostras (a) 0 dias e (b) 100 dias, meio básico.

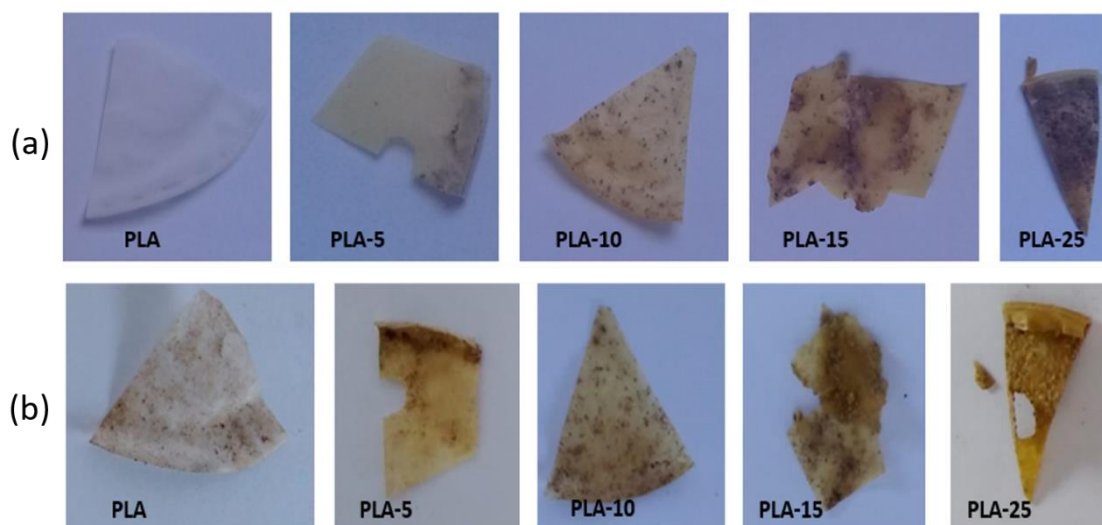
As amostras PLA, PLA-5 e PLA-25 em solo apresentaram uma pequena perda de massa em 50 dias, enquanto as amostras de PLA-10 e PLA-15 mantiveram as massas, Figura 26 e 27. Todas as amostras testadas em solo tiveram sua aparência modificada, oxidada e quebradiça. Estudos feitos por Meequ e Khiansanoi mostraram que a degradação em compostagem de amostra PLA/silicone apresentou resultados positivos, sendo em 10 semanas desintegrada em pequenos pedaços, da mesma forma que o PLA



puro (MEEKUM e KHIANSANOI, 2018). Vale ressaltar que a oxidação observada é indício de degradação das amostras (TOLGA, KABASCI e DUHME, 2020).



**Figura 32** - Comportamento das amostras no teste de degradação em solo.



**Figura 33** - Amostras (a) 0 dias e (b) 100 dias em solo.

A partir do total de degradação em 3 meses, Figura 28, observou-se que todas as amostras degradaram em solo, provável ação de microrganismos e de hidrólise (QI, REN e WANG, 2017). A amostra que apresentou maior degradação em todos os meios foi a amostra PLA-15. Provavelmente, se o interesse da embalagem for rápida degradação, a amostra PLA-15 seria a composição mais adequada. Entretanto, se o interesse for embalagens que se mantenham mais estáveis por 3 meses, a amostra com menor variação de massa foi a amostra PLA, ressaltando devido cuidado em meios básicos.

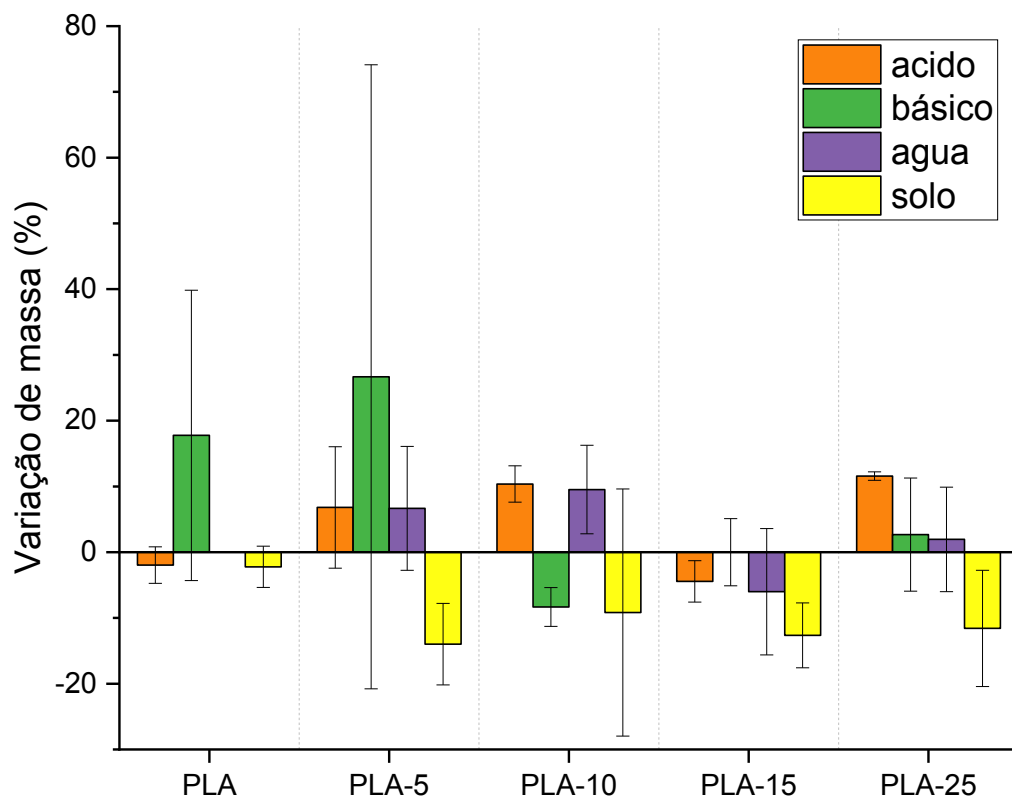


Figura 34 - Taxa de variação de massa das amostras após 3 meses nos meios.

## 5 CONCLUSÕES

Este trabalho deve como objetivo o desenvolvimento de novos biopolímeros a partir de resíduos de cenoura e PLA, visando a aplicação desses novos materiais biodegradáveis na substituição de polímeros convencionais.

Filmes de PLA contendo cascas de cenoura apresentam propriedades mecânicas do biopolímero otimizadas. Houve uma diminuição da porosidade do PLA com o aumento da incorporação de carga, essa incorporação também influenciou a espessura do filme e conseqüentemente, as propriedades de barreira. Observou-se através do MEV que houve baixa aderência das fibras de cenoura à matriz do PLA, o que pode ser resolvido com um agente compatibilizante em estudos futuros.

Os testes de degradação em solo mostraram os melhores resultados para a perda de massa das amostras e aparência envelhecida. Os resultados em meio ácido e aquoso foram de aumento de massa. As amostras em meio básico apresentaram aumento de massa nos primeiros quinze dias de teste, devido aos resíduos de bicarbonato que agregaram na superfície, em seguida as amostras perderam massa e estabilizaram até os cinquenta dias de teste. Os testes demonstraram que a degradação em solo é a melhor e mais rápida para as amostras PLA/cenoura. As amostras PLA-15 apresentaram perda de massa considerável em solo, mostrando que a incorporação da cenoura pode influenciar na degradação e na estabilização do PLA.

### 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugerem-se as seguintes investigações complementares a esta linha de pesquisa:

- Estudo da granulometria da cenoura adicionada no PLA;
- Trituração através de moinho de facas para obtenção de uma granulometria mais fina;
- Analisa as amostras por FTIR, DRX, MEV, TGA, Analisador de textura antes e após o teste de degradação quando possível;
- Teste de Solubilidade em água e permeabilidade ao vapor de água

## 6 REFERÊNCIAS

A. NOR ADILAH, B. J. M. A. N. Z. A. N. H. Utilization of mango peel extracts on the biodegradable films for active. **Elsevier**, p. 1-7, 2018.

ABRE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM - ABRE. **www.abre.org.br**, [2020?]. Disponível em: <<https://www.abre.org.br/dados-do-setor/ano2019/>>. Acesso em: 15 mar 2020.

ABRE,CETESB,CETEA. Embalagem e Sustentabilidade: desafios e orientações no contexto da economia circular. **http: //www.abre.org.br**, 2016. Disponível em: <[http://www.abre.org.br/wp-content/uploads/2012/08/embalagem\\_sustentabilidade.pdf](http://www.abre.org.br/wp-content/uploads/2012/08/embalagem_sustentabilidade.pdf)>. Acesso em: 18 dez. 2019.

AGRISTAR. PRODUÇÃO DE CENOURAS DOBRA COM VARIEDADES HÍBRIDAS E ÁREAS TECNIFICADAS. **Agristar**, [s.d]. Disponível em: <<https://agristar.com.br/sala-de-imprensa/detalhe/producao-de-cenouras-dobra-com-variedades-hibridas-e-areas-tecnificadas>>. Acesso em: 15 Maio 2020.

AHMED, J.; VARSHNEY, S. K. Polylactides—Chemistry, Properties and Green Packaging Technology: A Review. **International Journal of Food Properties**, Quebec, Canada, v. 14, n. 1, p. 37-58, 22 Dez 2010. DOI: 10.1080/10942910903125284.

ANVISA. <http://portal.anvisa.gov.br>. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**, 2002. Disponível em: <[http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/RDC\\_259\\_2002.pdf/e40c2ecb-6be6-4a3d-83ad-f3cf7c332ae2](http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/RDC_259_2002.pdf/e40c2ecb-6be6-4a3d-83ad-f3cf7c332ae2)>. Acesso em: 28 Mar 2020.

ARANHA, C. P. M. **Caracterização de Oleos Extraídos de sementes de Laranjas (Citrus Sinensis) Como Aproveitamento de Resíduos Agroindustrias**. Dissertação (Dissertação em Engenharia e Ciências de Alimentos) - UNESCO. São Jose do Rio Preto, p. 76. 2011.

ARANTZAZU VALDÉS, A. C. M. . M. R. . M. C. G. A. A. J. Natural Additives and Agricultural Wastes in Biopolymer Formulations for Food Packaging. **Frontiers in Chemistry**, p. 1-10, 2014.

BARBOSA, A. D. **Blenda degradável de poli(ácido L-láctico)/poli(acetato de vinila) para liberação localizada de óxido nítrico**. Dissertação (Dissertação em Química) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de. Campinas, SP. 2018.

BIOWARE. bioware. **bioware.me**, 2020. Disponível em: <<https://bioware.me/product/6-inch-white-pla-fork-heat-resistant-disposable-eco-friendly/>>. Acesso em: 29 julho 2020.

BITENCOURT, S. S. et al. Desenvolvimento de biocompósitos de poli(L-ácido láctico) (PLLA) com serragem de madeira. **SciELO**, Rio de Janeiro, v. 22, 2017. Acesso em: 26 Fevereiro 2021.

BRASIL. LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. **planalto**, 2 Agosto 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 18 julho 2020.

BUENO, P. H. T. **PANORAMA GERAL DAS PERDAS E DESPERDÍCIO DE ALIMENTOS E SOLUÇÕES PARA O ACESSO À ALIMENTAÇÃO**. Trabalho de Conclusão de Curso ( Bacharel em Engenharia de Alimentos) - UFG. Patos de Minas, p. 51. 2019.

CHIENG, B. W. et al. Epoxidized Vegetable Oils Plasticized Poly(lactic acid) Biocomposites: Mechanical, Thermal and Morphology Properties. **Molecules**, v. 19, p. 16024-16038, Outubro 2014. Disponível em: <[www.mdpi.com/journal/molecules](http://www.mdpi.com/journal/molecules) >. Acesso em: 26 fevereiro 2021.

COBO, F. N.; GUTTUZZO, L.; CARVALHO, G. M. D. ESTUDO SOBRE A FORMAÇÃO DE MICROPOROS EM FILMES DE PLA E EM BLENDDAS PLA/PBAT PELO MÉTODO BREATH FIGURE. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, p. 16948-16962, Fevereiro 2021. Disponível em: <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/24908>>. Acesso em: 9 Abril 2021.

COOPBOX. Linea NATURALBOX. **Coopbox**, [s.d]. Disponível em: <[http://www.coopbox.it/portal/page?\\_pageid=896,6308636&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://www.coopbox.it/portal/page?_pageid=896,6308636&_dad=portal&_schema=PORTAL)>. Acesso em: 18 Maio 2020.

DANTAS, E. A. et al. Caracterização e avaliação das propriedades antioxidantes de filmes biodegradáveis incorporados com polpas de frutas tropicais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, p. 142-148, Janeiro 2015. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782015000100142&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782015000100142&script=sci_arttext)>.

DEBIAGI, F. et al. Embalagens biodegradáveis de amido reforçadas com fibras lignocelulósicas provenientes de resíduos agroindustriais. **BBR - Biochemistry and Biotechnology Reports**, v. 1, p. 57-67, Dezembro 2012. Acesso em: 23 Outubro 2019.

EMBRAPA. <https://www.embrapa.br/tema-perdas-e-desperdicio-de-alimentos/sobre-o-tema>. **Perdas e desperdícios de alimentos**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-perdas-e-desperdicio-de-alimentos/sobre-o-tema>>. Acesso em: 20 julho 2021.

FERREIRA, J. S. **Impacto ambiental e ingestão de lixo pelas tartarugas verdes (Chelonia mydas) na praia de Regência, norte do Espírito Santo**. Monografia - ( Bacharel em Ciências Biológicas - UFES). Vitoria - ES, p. 46. 2015.

FILHO, A. C. P. D. M.; SOUZA, J. C. P. D.; CASTRO, C. F. D. S. Avaliação das características poliméricas do biofilme do resíduo de melancia. **Scientia plena** , v. 15, n. 8, 19 Agosto 2019. [www.scientiaplenu.org.br](http://www.scientiaplenu.org.br).

FINNISS, A. **Polylactic Acid-Based Polymer Blends for Durable Applications**. Graduate Theses, Dissertations, and Problem Reports - West Virginia University. [S.l.], p. 152. 2014.

FINOCCHIO, G.; MIAGUSUKU, M. D. Análises de falhas em materiais poliméricos. **Afinko Polimeros**, [s.d]. Disponível em: <<https://afinkopolimeros.com.br/e-books/>>. Acesso em: Agosto 2021.

FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. POLÍMEROS BIODEGRADÁVEIS – UMA SOLUÇÃO PARCIAL PARA DIMINUIR A QUANTIDADE DOS RESÍDUOS PLÁSTICOS. **Química Nova**, v. 29, p. 811-816, 2006.

FUKUSHIMA, K.; FEIJOO, J. L.; YANG, M.-C. Abiotic degradation of poly(DL-lactide), poly(-caprolactone) and their blends. **Polymer Degradation and Stability - Elsevier Ltd**, v. 97, p. 2347-2355, Julho 2012. Acesso em: 23 Janeiro 2020.

G. F. BRITO, P. A. E. M.. A. T. J. A. M. Biopolímero, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes. **Remap**, p. 127-139, 2011.

GREENE, J. Biodegradation of Compostable Plastics in Green Yard-Waste Compost Environment. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 15, p. 269-273, 13 Nov. 2007. DOI 10.1007/s10924-007-0068-1.

HENTON, D. E. et al. <https://www.researchgate.net/publication>. In: AMAR K. MOHANTY, M. M. L. T. D. **Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites Natural**. Boca Raton: CRC Press, 2005. p. 527-578. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/289599648\\_Polylactic\\_Acid\\_Technology](https://www.researchgate.net/publication/289599648_Polylactic_Acid_Technology)>. Acesso em: 01 fev. 2020.

HORTIBRASIL. Classificação da cenoura. **hortibrasil**, [s.d]. Disponível em: <<http://www.hortibrasil.org.br/classificacao/cenoura/cenoura.html>>. Acesso em: 15 maio 2020.

IAHNKE, A. O. S. et al. **EFEITO DA ADIÇÃO DE FIBRA DE RESÍDUO DE CENOURA MINIMAMENTE PROCESSADA NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE FILMES BIODEGRADÁVEIS**. Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos - UFRGS. Bento Gonçalves,RS. 2015.

JORGE, N. **Embalagens para Alimentos**. 1ª. ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2013. 194 p.

JORGE, N. **Embalagens para Alimentos**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2013.

JUNIOR, S. V. C. **Técnicas de Caracterização de Polímeros**. São Paulo: Artliber, 2003. 449 p.

KOTLER, P. **Administração de Marketing**. São Paulo: Prentice Hall, 2000.

L.-T. LIM, R. A. M. R. Processing technologies for poly(lactic acid). **ELSEVIER**, p. 820-852, 2008.

LALNUNTHARIA, C. et al. Valorisation of pumpkin seeds and peels into biodegradable packaging films. **Elsevier**, v. 118, p. 58-66, 31 Agosto 2019. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.08.015>.

LANDIM, A. P. M. Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **SciELO**, p. 82-92, 2016.

LAUFENBERG, G.; KUNZ, B.; NYSTROEM, M. Transformation of vegetable waste into value added products: (A) the upgrading concept; (B) practical implementations. **Elsevier Science Ltd**, v. 87, p. 167-198, 2003. *Bioresource Technology*.

LEMOS, A. L. D.; MARTINS, R. M. D. Desenvolvimento e Caracterização de Compósitos Poliméricos à Base de Poli(Ácido Lático) e Fibras Naturais. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 24, p. 190-197, 2014. Disponível em: <<https://revistapolimeros.org.br/doi/10.4322/polimeros.2014.047>>. Acesso em: 18 Março 2021.

LUCAS, N. et al. Polymer biodegradation: Mechanisms and estimation techniques. **Elsevier**, v. 73, p. 429-442, Setembro 2008. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.06.064>.

LV, S. et al. Physicochemical evolutions of starch/poly (lactic acid) composite biodegraded in real soil. **Elsevier**, Harbin, China, v. 228, p. 223-231, 9 set 2018. journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jenvman](http://www.elsevier.com/locate/jenvman).

MACEDO, M. J. M. F. **Produção de bioplástica partir de agro-resíduos**. Universidade do Moinho - Escola de Engenharia. [S.l.], p. 81. 2015.

MACHADO, B. A. S. et al. OBTENÇÃO DE NANOCELULOSE DA FIBRA DE COCO VERDE E INCORPORAÇÃO EM FILMES. **Química Nova**, v. 37, n. 8, p. 1275-1282, Agos 2014.

MEEKUM, U.; KHIANSANOI, A. PLA and two components silicon rubber blends aiming for frozen foods packaging applications. **Journal Elsevier - Results in physics**, v. 8, p. 79-88, Março 2018. Disponível em: <[www.journals.elsevier.com/results-in-physics](http://www.journals.elsevier.com/results-in-physics)>. Acesso em: 18 Março 2021.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. O que é embalagem. **Ministério do Meio Ambiente**, [2019?]. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel/consumo-consciente-de-embalagem/o-que-e-embalagem.html>>. Acesso em: 10 dezembro 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Gestão de Resíduos Orgânicos. **www.mma.gov.br**, [s.d]. Disponível em: <[www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/gestao-de-residuos-orgânicos](http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/gestao-de-residuos-orgânicos)>. Acesso em: 15 dez 2019.

MMA. Impacto das Embalagens no Meio Ambiente. [www.mma.gov.br](http://www.mma.gov.br), [s.d]. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel/consumo-consciente-de-embalagem/impacto-das-embalagens-no-meio-ambiente.html>>. Acesso em: 8 Julho 2020.

NEGRÃO, C.; CAMARGO, E. P. D. **Design de Embalagem - Do Marketing à Produção**. São Paulo: Novatec, 2008. 336 p.

NIUA, X. et al. Rosin modified cellulose nanofiber as a reinforcing and co-antimicrobial agents in polylactic acid /chitosan composite film for food packaging. **Elsevier Ltd.**, v. 183, p. 102-109, 2018. Disponível em: <[www.elsevier.com/locate/carbpol](http://www.elsevier.com/locate/carbpol)>. Acesso em: 18 Março 2021.

OTONI, C. G. **Preparação, caracterização e otimização de biocompósitos poliméricos comestíveis reforçado com fibras vegetais**. TESE ( Tese de doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) - UFSCar. [S.l.], p. 175. 2017.

PIGOLI, D. R.; VIEITES, R. L.; DAIUTO, É. R. ALTERAÇÕES NUTRICIONAIS EM CASCA E POLPA DE CENOURA DECORRENTE DE DIFERENTES MÉTODOS DE COZIMENTO. **Energia na Agricultura**, Botucatu, SP, v. 29, n. 2, p. 121-127, Abril - junho 2014.

PRADELLA, J. G. D. C. **Biopolímeros e Intermediários Químicos**. Relatório Técnico - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos -CGEE. São Paulo, p. 119. 2006.

QI, X.; REN, Y.; WANG, X. New advances in the biodegradation of Poly(lactic) acid. **Elsevier Ltd**, v. 117, p. 215-223, Fevereiro 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0964830517300100>>. Acesso em: 18 Maio 2021.

RAFAEL AURAS, B. H. S. S. An Overview of Polylactides as Packaging Materials, p. 835-864, 18 junho 2004.

ROCHA, G. O. et al. Filmes Compostos Biodegradáveis a Base de Amido de Mandioca e Proteína de Soja. **Polímeros**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 5, p. 587-595, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/0104-1428.1355>.

ROSA, M. F. et al. VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA. II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais - II SIGERA 15 a 17 de março de 2011, Foz do iguaçu. Disponível em: <<http://www.sbera.org.br/2sigera/obras/p12.pdf>>. Acesso em: 23 maio 2020.

RUCHA V. MOHARIR, S. K. Challenges Associated with Plastic Waste Disposal and Allied Microbial Routes for its Effective Degradation: A Comprehensive. **Journal of Cleaner Production**, 2018.

SANTOS, A. M. P.; YOSHIDA, C. M. P. **Embalagem**. Técnico em Alimentos - UFRPE. Recife, p. 152. 2011.



SHARMA, K. D. et al. Chemical composition, functional properties and processing of carrot—a review. **Springer**, p. 22 -32, 2012. DOI 10.1007/s13197-011-0310-7.

SHEAVLY, S. B.; REGISTER, K. M. Marine Debris & Plastics: Environmental Concerns, Sources, Impacts and Solutions. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 15, p. 301-305, 2007. DOI 10.1007/s10924-007-0074-3.

SILVA, M. C.; OLIVEIRA, S. V. D.; ARAÚJO, E. M. Propriedades Mecânicas e Térmicas de Sistemas de PLA e PBAT/PLA. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, p. 112-117, 2014.

SIRIPATRAWAN, U.; HARTE, B. R. Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract. **Elsevier**, v. 24, p. 770-775, Abril 2010. doi:10.1016/j.foodhyd.2010.04.003.

SONTAYA LIMMATVAPIRAT, D. P. C. L. J. N. M. L.-A. S. P. Formation of shellac succinate having improved enteric film properties through dry media reaction. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics - ELSEVIER**, v. 70, p. 335-344, Setembro 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0939641108000957>>. Acesso em: 15 Maio 2020.

SOUSA, R. M. D. D. D. **Aproveitamento do resíduo oriundo do processamento mínimo de cenoura no desenvolvimento de novos produtos alimentícios**. Dissertação (Dissertação em Nutrição Humana) - UnB. Brasília - DF, p. 137. 2008.

SWAROOP, C.; SHUKLA, M. Nano-magnesium oxide reinforced polylactic acid biofilms for food packaging applications. **Elsevier**, v. 113, p. 729-736, Julho 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813018303039>>. Acesso em: 18 Março 2021.

TOLGA, S.; KABASCI, S.; DUHME, M. Progress of Disintegration of Polylactide (PLA)/Poly(Butylene Succinate) (PBS) Blends Containing Talc and Chalk Inorganic Fillers under Industrial Composting Conditions. **Polymers - MDPI**, v. 13, Dezembro 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-4360/13/1/10>>. Acesso em: 18 Maio 2020.

TSUJI, H.; NAKAHARA, K. Poly(L-lactide). IX. Hydrolysis in Acid Media. **Applied Polymer Science**, v. 86, p. 186-194, Julho 2002. Acesso em: 13 Março 2021.

VOSTREJS, P. et al. Active biodegradable packaging films modified with grape seeds lignin. **RSC Advances**, 10, julho 2020. 29202-29213. The Royal Society of Chemistry.

WANG, X. et al. Barrier and mechanical properties of carrot puree films. **ELSEVIER**, v. 89, p. 149-156, 2011. journal homepage: [www.elsevier.com/locate/fbp](http://www.elsevier.com/locate/fbp).

ZARO, M. **Desperdício de alimentos:** velhos hábitos, novos desafios. Caxias do Sul: Educs, 2018. 419 p. <https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/e-book-desperdicio-de-alimentos-velhos-habitos.pdf>.

ZHANG, J.- F.; N, X. S. U. Poly(lactic acid)-based bioplastics. In: SMITH, R. **Biodegradable polymers for industrial applications**. [S.l.]: Copyright © 2005 Woodhead Publishing Limited, 2005. Cap. 10, p. 251-288. <https://www.sciencedirect.com/book/9781855739345/biodegradable-polymers-for-industrial-applications>.

ZHOU, X. et al. Development and characterization of bilayer films based on pea starch / polylactic acid and use in the cherry tomatoes packaging. **Elsevier**, v. 222, 11 Maio 2019.